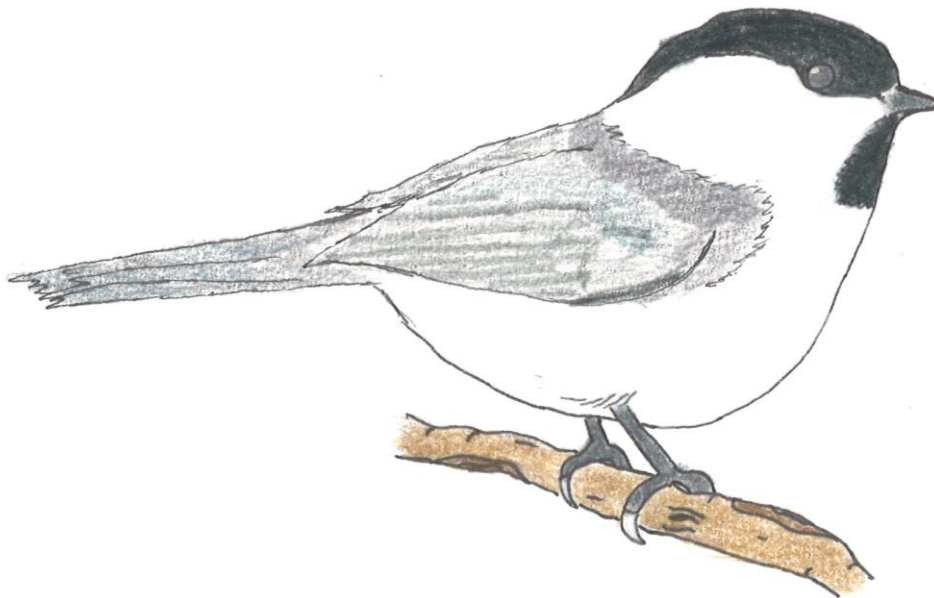


Talvisten lintuyhteisöjen muutokset Suomessa



Ari Turula
Helsingin yliopisto
Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta
Ekologia ja evoluutiobiologia
Pro gradu –tutkielma
Huhtikuu 2019



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Bio- ja ympäristötieteellinen tiedekunta		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Ekologia ja evoluutiobiologia	
Tekijä – Författare – Author Ari Turula			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Talvisten lintuyhteisöjen muutokset Suomessa			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Ekologia ja evoluutiobiologia			
Työn laji – Arbetets art – Level Pro gradu -tutkielma		Aika – Datum – Month and year Huhtikuu 2019	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 37 s. + liitteet 5 s.
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Ilmastomuutos on yksi suurimmista eliöiden runsauteen vaikuttavista tekijöistä. Keskilämpötilat nousevat pohjoisella pallonpuoliskolla etenkin talvella, mikä vaikuttaa talvehtiviin lintuyhteisöihin. Osa lajeista hyötyy lämpenemisestä ja osalle siitä on haittaa. Lauhtuvista talvista hyötyvät esimerkiksi eteläiset, lämpöä suosivat lajit, jotka leviävät pohjoista kohti. Pohjoiset lintulajit joutuvat taas vetäytymään pohjoiseen vähentyvistä elinalueista johtuen. Kylmien alueiden linnuilta voi loppua elintila, sillä ne eivät voi vetäytyä loputtomasti. Euroopassa esimerkiksi Jäämeri rajoittaa monien lajien leviämistä enää pohjoisemmaksi.</p> <p>Suomessa on talvella huomattavasti vähemmän lintuja kuin kesällä, sillä suurin osa linnuistamme muuttaa pois talveksi. Tämä saattaa tulevaisuudessa muuttua, mikäli talvet muuttuvat leudommiksi. Osa muuttajista voi viivytellä mahdollisimman pitkään ennen muutolle lähtöä ja osa saattaa jäädä jopa yrittämään talvehtimista. Tästä seuraa, että lintuyhteisöt voivat muuttua enemmän lämpöä suosiviksi, jolloin yhteisöjä dominoivat eteläiset, lämpöä suosivat lajit. Talvisia lintuyhteisöjen muutoksia voidaan tutkia esimerkiksi talvilintulaskentojen avulla, joita Suomessa on tehty vapaaehtoisten toimesta jo noin 60 vuoden ajan.</p> <p>Tässä tutkimuksessa selvitin runsastuvatko eteläiset lämpöä suosivat lajit suhteessa pohjoisiin, kylmää sietäviin lajeihin Suomessa. Tutkimukseni aineistona olivat talvilintulaskennat koko Suomen alueelta alkaen talvesta 1956/1957 talveen 2014/2015. Aineisto sisältää yhteensä 609 laskentareittiä, joista jokaista reittiä oli laskettu vähintään 15 kertaa. Lisäksi selvitin, voidaanko joulukuun muuttuvilla koko Suomen keskilämpötiloilla selittää talvisten lintuyhteisöjen muutoksia. Keskilämpötilat olivat saatavilla vuodesta 1961.</p> <p>Suomen talviset lintuyhteisöt ovat muuttuneet enemmän lämpöä suosiviksi. Muutoksen voi aiheuttaa esimerkiksi muutaman eteläisen lajin yksilömäärien runsastuminen tai kylmää suosivien lajien katoaminen alueelta. Joulukuun nousevat keskilämpötilat selittivät puolestaan yhteisöjen muuttumista vuositasona. Tulokset voivat tarkoittaa sitä, että leudontuvat alkutalvet tulevat muuttamaan lintuyhteisöjä myös jatkossa.</p> <p>Tutkimukseni osoitti, että lintuyhteisöt muuttuvat ilmastomuutoksen myötä. Pohjoisille leveyksille jää yhä enemmän talvehtivia lajeja ja pohjoisen lajirikkaus saattaa jopa nousta. Koska ilmastomuutos vaikuttaa lintuihin, on erittäin todennäköistä, että se vaikuttaa myös muihin elöyhteisöihin. Linnut reagoivat ympäristön muutoksiin erittäin nopeasti, joten niiden avulla on mahdollista havaita muutoksia lyhyellä aikajänteellä.</p> <p>Suomalaiset lintulaskenta-aineistot ovat kansainvälisesti vertailtuna hyvin kattavat. Ne sisältävät arvokasta tietoa lintujen määristä, joten niitä on tärkeää hyödyntää tutkimuksessa myös tulevaisuudessa. Lisäksi on tärkeää tutkia ilmastomuutoksen ja elinympäristöjen muutosten yhteisvaikutusta lintuyhteisöihin, sillä nämä kaksi tekijää voivat vaikuttaa merkittävästi lajien kannankehityksiin.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Lintuyhteisöt, CTI, Community Temperature Index, STI, Species Temperature Index, ilmastomuutos, talvilintulaskenta, linnustonseurannat			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Aleksi Lehikoinen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikin kampuskirjasto & Luonnontieteellinen keskusmuseo			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			



Tiedekunta – Fakultet – Faculty Faculty of Biological and Environmental Sciences		Koulutusohjelma – Utbildningsprogram – Degree Programme Ecology and evolutionary biology	
Tekijä – Författare – Author Ari Turula			
Työn nimi – Arbetets titel – Title Talvisten lintuyhteisöjen muutokset Suomessa (Changes of winter bird communities in Finland)			
Oppiaine/Opintosuunta – Läroämne/Studieinriktning – Subject/Study track Ecology and evolutionary biology			
Työn laji – Arbetets art – Level Master's thesis		Aika – Datum – Month and year April 2019	Sivumäärä – Sidoantal – Number of pages 37 p. + appendices 5 p.
Tiivistelmä – Referat – Abstract <p>Climate change is one of the biggest threats to living organisms. Average temperatures rise at the Northern Hemisphere especially at winter and that affects to bird communities. Some of the species will benefit from the warming and some species are negatively affected. Southern, warm dwelling species, which are spreading out to the north, are benefitting from warmer winters. Whereas northern bird species are forced to withdraw more to north because of decreasing climate suitability. The cold dwelling species may run out of living space, because they cannot withdraw forever. For example in Europe the Arctic Ocean prevents terrestrial species from migrating further north.</p> <p>There is considerably less species in Finland during wintertime than summertime, because most of the bird species migrate away. This may change in the future as winters become warmer. Some of the species may delay their migration and some may stay and try to winter. If this happens, warm dwelling bird species may become the dominant ones in bird communities. The changes in winter bird communities can be studied with the help of bird counts. In Finland, volunteers have carried out winter counts about 60 years already.</p> <p>The aim of this thesis was to determine whether the southern, warm dwelling species increase with respect to the northern, cold dwelling species in Finland. This study is based on winter bird counts from all over Finland, starting from winter 1956/1957 to winter 2014/2015. There were 609 count routes in total. Each route was counted at least 15 times. The second aim of this thesis was to determine whether increasing mean temperatures in December in Finland are explaining the winter bird community changes. Mean temperatures were available from year 1961.</p> <p>The Finnish winter bird community has changed towards the domination of warmer dwelling species. This changes can happen when the amount of few southern warm dwelling species increase or because of the disappearing of cold dwelling species. The variation of mean temperature in December explained changes in communities on annual level. The results mean, that as winters become warmer in the future, the bird communities will change because of that.</p> <p>My thesis showed that bird communities will change because of the climate change. This will cause the amount and richness of wintering species in northern latitudes to likely increase. As climate change affects birds, it is exceedingly probable that it affects to other communities of other taxa as well. As birds react relatively fast to environmental changes, it is possible by monitoring their populations to notice these changes.</p> <p>Finnish bird monitoring are very comprehensive on international level. They include important information about the amounts of birds and it will be important to utilize them in the future. Furthermore it would be good to examine the interaction of climate change and land use changes to birds because these two things can significantly affect the abundance of species.</p>			
Avainsanat – Nyckelord – Keywords Bird community, CTI, STI, climate change, winter bird count, participate monitoring			
Ohjaaja tai ohjaajat – Handledare – Supervisor or supervisors Aleksi Lehikoinen			
Säilytyspaikka – Förvaringställe – Where deposited Viikki Campus library & Finnish Museum of Natural history			
Muita tietoja – Övriga uppgifter – Additional information			

Sisällysluettelo

1. Johdanto	1
1.1. Ilmastonmuutos	1
1.2. Ilmastonmuutos Euroopassa ja Suomessa	2
1.3. Linnut muuttuvassa ilmastossa	3
1.4. Talviset lintuyhteisöt	7
1.4.1. Talvilintujen määriin vaikuttavat tekijät	7
1.5. Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset	9
2. Aineisto ja menetelmät	11
2.1. Talvilintulaskennat	11
2.2. Community Temperature Indexin (CTI) laskeminen	12
2.2.1. Species Temperature Index-arvot	13
2.2.2. CTI-arvot	13
2.3. Joulukuun keskilämpötilat	14
2.4. Tilastolliset menetelmät	14
2.4.1. Vuosittaisten CTI-arvojen laskeminen	14
2.4.2. Joulukuun keskilämpötilojen ja CTI-arvojen analysointi	15
3. Tulokset	16
4. Tulosten tarkastelu	19
4.1. Ilmastonmuutoksen vaikutus lintuyhteisöihin	21
4.2. Muita lintuyhteisöihin vaikuttavia tekijöitä	24
4.3. Tutkimuksen luotettavuus	27
5. Johtopäätökset	30
6. Kiitokset	31
Kirjallisuus	32
Liitteet	38

1. Johdanto

1.1. Ilmastonmuutos

Maapallon ilmasto on lämmennyt merkittävästi 1850-luvulta alkaen. Kaiken kaikkiaan keskilämpötila on noussut vuosien 1880 ja 2017 välisenä aikana noin 1 °C (IPCC 2018). Kaikkein suurimmat lämpötilan nousut tapahtuvat pohjoisella pallonpuoliskolla (IPCC 2018). Pohjoisen pallonpuoliskon kolme lämpimintä vuosikymmentä 800 vuoteen sijoittuvat ajanjaksolle vuodesta 1932 vuoteen 2012. Nämä vuosikymmenet ovat luultavasti myös kaikkein lämpimimmät vuosikymmenet viimeisen 1400 vuoden tarkastelujakson aikana (IPCC 2014).

Pohjoisen pallonpuoliskon muuta maapalloa nopeampaan lämpenemiseen on useita syitä. Ensinnäkin, manneralueiden ennustetaan lämpenevän merialueita nopeammin. Näitä mantereisia alueita on pohjoisella pallonpuoliskolla enemmän kuin etelässä (Serreze & Barry 2011). Lisäksi pohjoisten jäätiköiden massa tulee pienenemään ja keväinen lumipeite vähenemään ilmastonmuutoksen seurauksena (IPCC 2014). Vuosittaisen lumipeitteen vähentyessä auringonvalon heijastus takaisin avaruuteen vähenee, mikä kiihdyttää lämpenemistä (Serreze & Barry 2011, IPCC 2014). Napa-alueiden meret tulevat pysymään yhä pidempään jäätöminä syksyisin ja alkutalvesta. Sulista meristä siirtyy lämpöä ja kosteutta ilmakehään, mikä puolestaan kiihdyttää lämpenemistä (Serreze & Barry 2011).

Ilmastonmuutos aiheuttaa dramaattisia muutoksia maapallon ekosysteemeissä. Jäätiköiden ja lumien sulamisen lisäksi ilmastonmuutos lisää säiden ääri-ilmiöitä, esimerkiksi poikkeuksellista kuumuutta ja myrskyjä, jotka vaikuttavat ekosysteemien toimintaan (IPCC 2014).

Nykyinen ilmaston lämpeneminen on seurausta sekä luonnollisista syistä että ihmisen vaikutuksesta (EEA 2016). Luonnollista lämpenemistä aiheuttavat esimerkiksi muutokset auringon aktiivisuudessa ja maapallon vulkaaninen toiminta (EEA 2016). Ihminen puolestaan muuttaa ilmastoa lisäämällä kasvihuonekaasujen määrää ilmakehässä. Ihmistoiminnasta johtuvat kasvihuonekaasupäästöt syntyvät etenkin maanmuokkauksesta, metsien hakkuista ja fossiilisten

polttoaineiden polttamisesta. Hiilidioksidi, metaani ja ilokaasu ovat esimerkkejä ihmistoiminnasta lähtöisin olevista kasvihuonekaasuista, jotka ovat suurina määrinä haitallisia ja kiihdyttävät voimakkaasti lämpenemistä (EEA 2016).

Ihmistoiminnasta aiheutuvat kasvihuonekaasujen määrät ovat kasvaneet hälyttävästi 1970-luvulta 2010-luvulle. Vuodesta 2000 vuoteen 2010 kasvihuonepäästöt olivat jo historiallisen suuret (IPCC 2014). Vuosittaiset hiilidioksidin määrät ilmakehässä ovat tällä hetkellä korkeimmillaan yli 800 000 vuoteen. Määrä on noin 40 % korkeampi kuin 1800-luvun puolivälissä alkaneella esiteollisella aikakaudella (EEA 2016). Ihminen siis vaikuttaa maapallon ilmastoon suuresti ja onkin erittäin todennäköistä, että yli puolet maapallon keskilämpötilan noususta vuosien 1951–2010 aikana on aiheutunut ihmisen tuottamista kasvihuonekaasupäästöistä (IPCC 2014).

1.2. Ilmastonmuutos Euroopassa ja Suomessa

Euroopan vuosittaisen keskilämpötilan esitetään nousevan jopa maailmanlaajuisista vuosittaista keskiarvoa nopeammin (EEA 2016). Viimeiset kolme vuosikymmentä ovat olleet Euroopassa kuumimmat 2000 vuoteen (Luterbacher ym. 2016). Eurooppa tulee olemaan entistä lämpimämpi. Etelä-Eurooppa kuivuu ja vastaavasti Pohjois-Euroopassa sateiden määrä lisääntyy (EEA 2016).

EEA 2016 raportin mukaan rajuimpia ilmastoriskejä Euroopassa ovat kuumuuden ääri-ilmiöt. Epätavallisen kuumien päivien määrä onkin kasvanut kymmenen päivää vuosikymmenessä 1960-luvulta lähtien (EEA 2016), ja Euroopassa on koettu yksitoista epätavallisen kuumaa kesää vuosien 1950–2015 aikana. Näistä kuusi on esiintynyt 2000-luvulla (Russo ym. 2015). Euroopan kaikkien aikojen kuumien vuosikymmen oli 2006–2015 (EEA 2016). Säiden ääri-ilmiöillä on suuri vaikutus luontoon ja ihmisten hyvinvointiin. Ilmiöiden tutkiminen on kuitenkin vaikeaa, sillä säiden ääri-ilmiöt ovat vielä melko harvinaisia eikä niistä ole olemassa kattavaa aineistoa niiden tutkimiseen (EEA 2016).

Suomessa vuoden keskilämpötila on noussut noin kaksi astetta ($2,3\text{ °C} \pm 0,4\text{ °C}$) 1800-luvun puolivälistä lähtien ja sen ennustetaan nousevan lisää (Mikkonen ym. 2015). Ilmastonmuutos on voimakkaimmillaan pohjoisilla leveyksillä (IPCC 2014), joilla Suomikin sijaitsee. Suo-

messa tapahtuva ilmaston lämpeneminen on peräti kaksi kertaa voimakkaampaa kuin maailmanlaajuinen lämpeneminen (Mikkonen ym. 2015). Ilmastonmuutoksen aiheuttama vuosittainen keskilämpötilan nousu on ollut vaihtelevaa. Esimerkiksi 1900-luvun puolivälissä lämpötilojen nousu on ollut melko vähäistä, mutta vuosien 2000–2010 aikana Suomessa on ollut erityisen lämmintä (Mikkonen ym. 2015).

Viime vuosikymmenien aikana talvet ovat lämmenneet kesiä enemmän (Tietäväinen ym. 2010, Mikkonen ym. 2015). Voimakkainta keskilämpötilan nousu on ollut marras-, joului- ja tammi-kuussa (Mikkonen ym. 2015). Talvet eivät kuitenkaan lämpene tasaisesti, vaan niiden välillä on eroja. Esimerkiksi 1930-luvulla koettiin epätavallisen lämpimiä talvia ja 1980-luvulla taas hyvin kylmiä (Mikkonen ym. 2015). Suomen talvet ovat olleet melko leutoja vuodesta 1988 lähtien (Tietäväinen ym. 2010). Eteläisen Suomen talvet voivat muuttua täysin lumettomiksi (Räisänen & Eklund 2011).

Vaikka ilmaston lämpeneminen on ollut Suomessa epätasaista, on se vaihteluista huolimatta ollut tilastollisesti merkitsevää (Mikkonen ym. 2015). Talvista ennustetaan tulevan yhä leudompia ja kesät muuttuvat kuumemmiksi. Hellepäivien määrä kasvaa ja kuumat jaksot pitenevät. Hellepäivien määrä voi 3–4-kertaistua vuosisadan lopulla (Ruosteenoja 2010). Suomen keskilämpötilan on ennustettu nousevan jopa 7 °C vuoteen 2080 mennessä (Jylhä ym. 2004). Koko Euroopan keskilämpötilan on puolestaan ennustettu nousevan noin 3,2–3,5 °C (Christensen ym. 2007).

Keskilämpötilan nousu aiheuttaa myös Suomessa huomattavia muutoksia ekosysteemeihin. Esimerkiksi puiden vuosirytmii muuttuu aikaistaen lehtien puhkeamista ja puiden kukkimista (Linkosalo ym. 2009). Nouseva lämpötila vaikuttaa myös esimerkiksi vesistöjen jäätymiseen: vedet jäätyvät yhä myöhemmin ja jäät lähtevät aikaisemmin (Korhonen 2006). Muutokset ekosysteemeissä heijastuvat luonnollisesti myös niissä eläviin eliöyhteisöihin.

1.3. Linnut muuttuvassa ilmastossa

Ilmastonmuutos on yksi tämän hetken suurimmista eliölajien runsauteen vaikuttavista tekijöistä (Parmesan & Yohe 2003, IPCC 2014). Useiden maalla ja vedessä elävien lajien sukupuuttoriski

kasvaa ilmastonmuutoksen myötä (Barbet-Massin ym. 2011) ja kaikista maailman maalintulajista jopa 1800 lajia voi vaarantua vuoteen 2100 mennessä (Jetz ym. 2007).

Ilmastonmuutoksesta aiheutuvia sukupuuttoa edesauttavia stressitekijöitä ovat lämpenemisen lisäksi merien happamoituminen, jäämassojen pieneneminen, jokien virtaaman väheneminen ja sateiden epätasaisuus. Useat ihmislähtöiset toimet aiheuttavat sukupuuttoja yhteisvaikutuksessa näiden stressitekijöiden kanssa. Pahimpia sukupuuttoja aiheuttavia ihmistoimia ovat maanmuokkaus, ympäristömyrkyt, rehevöityminen ja vieraslajit (IPCC 2014). Maailman selkärangakaisten populaatiot ovat pienentyneet keskimäärin 60 % vuosien 1970–2014 aikana ilmastonmuutoksen, elinympäristöjen muuttumisen ja ympäristön pilaantumisen takia (WWF 2018). Eliölajien runsauksien muutokset vaikuttavat ekosysteemien toimintaan. Suurimmat vaikutukset johtunevat yleisimpien lajien runsauksien muutoksista, koska yleiset lajit dominoivat ekosysteemejä (Gaston & Fuller 2008).

Ilmastonmuutos vaikuttaa myös eliöiden fenologiaan. Parmesanin (2006) kirjallisuuskatsauksen mukaan fenologiamuutoksia on havaittu linnuilla, nisäkkäillä, kasveilla ja hyönteisillä. Esimerkiksi Yhdysvalloissa eräiden kasvien kukinta on aikaistunut, keltavatsamurmeli (*Marmota flaviventris*) horrostamisaika on muuttunut ja monien perhoslajien ensilento on aikaistunut.

Linnut reagoivat ripeästi ilmastonmuutokseen, koska ne ovat herkkiä ympäristössä tapahtuville muutoksille (Gregory ym. 2005, Stephens ym. 2016). Linnut ovat ravintoketjun huipulla ja nopeat muutokset lajiyhteisöissä saattavat vaikuttaa koko ravintoketjuun ja toiminnalliseen diversityyn (Thuiller ym. 2014). Linnuilla ilmastonmuutoksesta johtuvia fenologiamuutoksia ovat esimerkiksi kevätmuuton (Jonzén ym. 2006, Møller ym. 2008) ja munintapäivän (Gaston ym. 2005) aikaistuminen. Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa esiintyvän kelopääskyn (*Tachycineta bicolor*) muninta-aika on aikaistunut jopa yhdeksän päivää vuosien 1959 ja 1991 aikana (Dunn & Winkler 1999). Vastaavasti Euroopassa kirjosiippo (*Ficedula hypoleuca*) on aikaistanut munintapäivää lämpötilojen nousun johdosta (Both ym. 2004). Britanniassa pesivistä linnuista jopa 75 % on ennustettu aikaistavan munintapäivää vuoteen 2080 mennessä (Crick & Sparks 1999). Suomessa jopa 26 lajin munintapäivä on aikaistunut vuosien 1961–2012 aikana (Kluen ym. 2017).

Populaatiotasolla keskeisimmät ilmastonmuutoksen vaikutukset lajistoon ovat levinneisyysalueiden ja runsauksien muutokset (Thomas & Lennon 1999, Chen ym. 2011, Virkkala & Lehtikoinen 2014). Euroopassa lajimäärien on ennustettu vähenevän vuoteen 2050 mennessä ja jopa noin 290 eurooppalaisen lintulajin populaatiokoon odotetaan pienenevän (Barbet-Massin ym. 2011). Pohjoisten alueiden lajimäärä tulee kasvamaan samalla kun lajeja häviää eteläisiltä alueilta (Barbet-Massin ym. 2011).

Ilmastonmuutos voi hyödyttää niitä lajeja, jotka elävät levinneisyytensä pohjoisreunalla lähellä fysiologisen sietokykynsä lämpötilaminimiä (Jiguet ym. 2010). Sen sijaan levinneisyytensä eteläreunalla, lähellä sietokykynsä lämpötilamaksimia, elävät lajit voivat kärsiä ilmaston lämpenemisestä (Jiguet ym. 2010). Tämä johtaa siihen, että monet kylmää ilmaa suosivat lajit vetäytyvät pohjoiseen ja lämmintä ilmaa suosivat lajit levittäytyvät eteläisiltä alueilta yhä pohjoisemmaksi (Virkkala & Rajasärkkä 2011). Eliöiden levinneisyysalueet voivat siirtyä myös korkeammalle vuoristoon (Chen ym. 2011), kun suotuisat ilmasto-olot siirtyvät kohti vuoristojen lakiosia (Jiguet ym. 2010). Se, miten lajit muuttavat elinpiiriensä rajoja, vaihtelee myös eri ekologisten ryhmien välillä (Välimäki ym. 2016).

Ilmastomuutos ei vaikuta kaikkiin lajeihin samalla tavalla, sillä lajit elävät erilaisissa elinympäristöissä ja niiden fysiologisessa sietokyvyssä on eroja (Jiguet ym. 2010). Mikäli laji on laajalle levittäytynyt, voivat myös saman lajin eri populaatiot elää erilaisissa ympäristöoloissa. Tästä johtuen populaatiot voivat sopeutua eri lailla ympäristönmuutoksiin, jolloin myös ilmastonmuutoksen vaikutukset lajidynamiikkaan ovat erilaiset populaatioiden eri osissa (Jiguet ym. 2010).

Levinneisyysalueiden muutoksien nopeuteen voivat vaikuttaa eliöiden fysiologiset rajat, hidas reagointi lämpötilamuutoksiin ja ympäristön vaikutus (Chen ym. 2011). Hidas reagointi ilmastonmuutokseen saattaa johtua eliöiden huonosta liikkumiskyvystä pirstaloituneessa elinympäristössä tai erikoistumisesta johonkin tiettyyn elinympäristöön (Warren ym. 2001, Thomas 2010). Toisaalta kyse voi olla myös siitä, että hitaasti reagoivat lajit voivat olla jo sopeutuneita muuttuviin olosuhteisiin ilman, että niiden tarvitsee muuttaa uusille alueille (Välimäki ym. 2016).

Erikoistuneet lajit ovat herkempiä ilmastonmuutokselle (Jiguet ym. 2010) ja spesialistilajit vähenevätkin generalisteja nopeammin (Gregory ym. 2005). Lisäksi yksilöiden väliset erot ovat

suuria ja kunkin yksilön reagointi erilaisiin muutoksiin, kuten muuton ajoittumiseen, voi vaihdella paljonkin eri elämänvaiheissa. Linnut voivat säätää muuttoaikaansa esimerkiksi suurilmaston vaihtelujen mukaan. (Vähätalo ym. 2004).

Matalammilla leveysasteilla elävien lajien on tutkimuksissa huomattu laajentaneen levinneisyysalueitaan enemmän kuin korkeammilla leveysasteilla elävien lajien (MacLean & Beissinger 2017). Esimerkiksi Isossa-Britanniassa monet lintulajit olivat laajentaneet levinneisyysalueitaan noin 18 kilometriä pohjoista kohti vuosien 1968–1972 ja 1988–1991 aikana (Thomas & Lennon 1999). Myös Suomessa monien etelässä pesivien lintujen levinneisyysalueet liikkuvat kohti pohjoista (Brommer ym. 2012).

Suurimmat yksilömäärien muutokset tapahtunevat pohjoisten alueiden lintuyhteisöissä, sillä myös lämpötilojen muutokset ovat suurimmillaan pohjoisilla leveyksillä (Jetz ym. 2007, IPCC 2018). Suomessa on jo havaittu muutoksia lintupopulaatioiden tiheyksissä (Virkkala & Rajasärkkä 2011, Virkkala & Lehikoinen 2014), joista voimakkaimmat muutokset ovat tapahtuneet pohjoisilla leveyksillä (Virkkala & Lehikoinen 2014). Koko Suomen mittakaavassa pohjoisten lajien runsaudet ovat siirtyneet keskimäärin 75 km ja eteläisten keskimäärin 27 km pohjoiseen vuosien 1970–2012 aikana. Keskimäärin lajit ovat siis siirtyneet Suomessa 45 km pohjoiseen 35 vuodessa (Virkkala & Lehikoinen 2014). Pohjoisten lintulajien tiheydet ovatkin laskeneet etelässä, kun vastaavasti eteläisten lajien tiheydet ovat kasvaneet pohjoisessa (Virkkala & Rajasärkkä 2011). Tämä tarkoittaa sitä, että eteläiset lajit valtaavat elinympäristöjä ja niiden levinneisyysalueet ovat laajentuneet yleisesti Suomessa.

Suomen lisäksi samankaltaisia pesimäaikaisten lintuyhteisöjen muutoksia on havaittu Euroopassa myös Ranskassa ja Ruotsissa (Devictor ym. 2008, Lindström ym. 2012). Euroopan ulkopuolella lintuyhteisöjen muuttumista on havaittu esimerkiksi Pohjois-Amerikassa (La Sorte & Thompson 2007, Princé & Zuckerberg 2015).

Yleisesti lintujen yhteisötutkimukset koskevat pitkälti pesimäaikaa, kun taas pesimäajan ulkopuoleisia tutkimuksia on vähemmän. Talvisten lintuyhteisöjen muutoksia käsittelevät tutkimukset ovat vähäisiä, vaikka näillä yhteisöillä on merkittävä rooli esimerkiksi kesien pesintöjen onnistumisissa (Robb ym. 2008).

1.4. Talviset lintuyhteisöt

Talvet rajoittavat monien eliöiden levinneisyyttä. Lintupopulaatioiden talvisissa tiheyksissä ja esiintymisalueissa on tapahtunut muutoksia viime vuosikymmenten aikana (La Sorte & Thompson 2007, MacLean ym. 2008, Princé & Zuckerberg 2015, Lehikoinen ym. 2016). Syynä muutoksiin näyttävät olevan lämpenevät talvet (Valiela & Bowen 2003). Talvien lämpenemisen on havaittu vaikuttavan esimerkiksi kahlaajien runsauksiin (Godet ym. 2011, MacLean ym. 2008). Esimerkiksi Euroopassa talvehtivien kahlaajien tiheydet ovat liikkuneet jopa 115 km koilliseen vuosien 1981–2000 aikana (MacLean ym. 2008). Kahlaajat ovat yksi tärkeä pohjaeläimiä syövä ryhmä ja muutokset kahlaajien talvisissa lajiyhteisöissä vaikuttavat pohjaeläimiin ja tätä kautta jokisuistojen ekosysteemeihin (Godet ym. 2011).

Talvisten tiheyksien ja esiintymisalueiden muutokset eivät tapahdu ainoastaan Euroopassa, vaan ilmiö on havaittavissa myös muilla mantereilla. Esimerkiksi La Sorte & Thompson (2007) tutkivat talvehtivien lintujen levinneisyysalueiden muutoksia Pohjois-Amerikassa. Tutkimuksessa havaittiin, että 254 talvehtivan lintulajin levinneisyysalueen keskittymät olivat siirtyneet keskimäärin 1,48 km pohjoista kohti vuosien 1975–2004 aikana.

Suomen talvilintulajisto on niukkaa ja talvisin lajeja on huomattavasti vähemmän kuin kesällä. Talvehtivien lintulajien lajirikkaus vähenee pohjoiseen päin mentäessä (Jokimäki ym. 1996). Kylmä ilmasto ja paksu lumikerros estävät lajeja talvehtimasta pohjoisessa. Ravinnon vähyys rajoittaa myös osaltaan lajirunsausta. Osa lajeistamme muuttaa kokonaan pois tai siirtyy maan sisällä pohjoisesta etelään talvehtimaan. Osa linnuistamme on myös ns. osittaismuuttajia, jolloin osa populaatiosta jää meille talvehtimaan ja osa muuttaa pois (Kalliola 2006).

1.4.1. Talvilintujen määriin vaikuttavat tekijät

Talvilajien määrään vaikuttaa maantieteellisen sijainnin lisäksi myös se, millaisessa elinympäristössä linnut elävät (Fraixedas ym. 2015). Suomessa suurimmillaan lintutiheydet ovat asutusten ja kaatopaikkojen läheisyydessä, joissa ravintoa on helpommin saatavilla kuin muissa ympäristöissä: asutuksen lähellä on paljon ruokintoja ja kaatopaikoilla paljon syötäväksi kelpaavaa jätettä (Lehikoinen & Väisänen 2014). Monien kaatopaikoilla ruokailevien lintujen määrät

ovatkin kasvaneet vuosien 1987–2014 aikana (Lehikoinen & Väisänen 2014). Myös kaupungissa talvehtivien lintujen tiheydet ovat kasvaneet (Fraixedas ym. 2015).

Suomessa hyvin urbanisoituneilla alueilla lajimäärä ei vähene pohjoiseen päin mentäessä yhtä paljon kuin muissa elinympäristöissä (Jokimäki ym. 1996). Tähän saattaa vaikuttaa ihmisen tarjoama lisäravinto eli korkea ruokintojen määrä ja se, että Suomessa kaupungeissa on usein lämpimämpää ja vähemmän lunta kuin sitä ympäröivillä alueilla (Jokimäki ym. 1996). Tosin kaupungistumisen on todettu vähentävän lajirikkautta yleisesti (Chace & Walsh 2004) ja lajirikkaus väheneekin yleisesti ydinkeskustaa päin mentäessä (Fuller ym. 2008). Suomessa talvehtii noin 30 lintulajia urbaaneilla alueilla (Suhonen ym. 2009).

Jotkin metsälajit eivät juuri tule suuriin asutuskeskittymiin, sillä kaupungeissa ei ole välttämättä niille sopivaa elinympäristöä (Jokimäki & Suhonen 1993). Tällaisia lajeja voivat olla esimerkiksi metsätiaiset. Näiden lajien talviyhteisöihin saattavat vaikuttaa enemmän niiden elinympäristöissä tapahtuvat muutokset, kuten metsätalous. Esimerkiksi hömö- ja töyhtötiaiset (*Poecile montanus*, *Lophophanes cristatus*) tarvitsevat elinympäristökseen vanhaa metsää, josta ne etsivät ruokansa. Vanhojen metsärakenteiden karsimisen talousmetsistä on huomattu vaikuttavan näiden lajien määriin negatiivisesti: metsäisillä alueilla lintutiheydet voivat olla jopa viisi kertaa suuremmat kuin taimikoissa tai avohakkuualueilla (Fraixedas ym. 2015). Suomessa talvinen metsälinnusto onkin köyhtynyt selvästi viimeisten 50 vuoden aikana (Fraixedas ym. 2015). Tehostunut metsätalous on tärkeä syy myös kanalintujen vähenemiseen (Lindén 2002).

Suomessa alhaisimmat talviset lintutiheydet ovat usein taimikoissa ja hakkuuaukeilla (Lehikoinen & Väisänen 2014). Vuosittaiset lintumäärät voivat heilahdella paljon eri elinympäristöissä. Esimerkiksi metsissä lintumäärien vaihtelu on suurta, joka johtuu pääasiassa marja- ja siemen-sadon vaihtelusta (Lehikoinen ym. 2010).

Suomessa talvisten lintuyhteisöjen määrään vaikuttavat monet tekijät, kuten habitaatin laatu ja ravinnon saanti. Näihin puolestaan vaikuttavat muun muassa talvien ankaruus tai leutous, erilaiset taudit, lisääntynyt lintujen ruokinta ja metsätalous. Yhtenä suurimpana tekijöistä voidaan pitää kuitenkin ilmastomuutosta ja sen onkin havaittu vaikuttavan jo talvisten yhteisöjen lajikoostumukseen ja tiheyksiin (esim. La Sorte & Thompson 2007, Virkkala & Lehikoinen 2014, Fraixedas ym. 2015, Princé & Zuckerberg 2015, Santangeli & Lehikoinen 2017).

Ilmaston lämpenemisellä on suurin vaikutus alueilla, joilla talven keskilämpötila on lähellä nollaa. Tällaisilla alueilla pienimmätkin lämpötilan muutokset vaikuttavat lumen ja jään määrään (Luomaranta ym. 2014), joka puolestaan voi vaikuttaa ravinnon saantiin. Lämpenevistä talvista hyötyvät todennäköisesti eteläiset lajit (Lehikoinen ym. 2016) ja lähimuuttajat saattavat hyötyä ei-muuttavista lajeista enemmän (Meller ym. 2016).

Vesilinnut hyötyvät talven lisääntyneestä jäättömyydestä (Lehikoinen ym. 2013) ja maalla elävät linnut voivat hyötyä siementen ja marjojen helpommasta saatavuudesta. Vesilintuihin leudot talvet saattavat vaikuttaa vielä positiivisemmin kuin maalla eläviin lintuihin, koska talven vaihtelevat lämpötilat vaikuttavat vain vähän terrestristen lintujen ravinnon saantiin. Vesistöjen jäätyessä vesilintujen ruokailu käy sen sijaan mahdottomaksi, sillä jääpeite on yksi suurimmista vesilintujen ravinnonhankintaa rajoittavista tekijöistä (Meller ym. 2016). Talvien lauhtuessa talvehtivien lintujen määrä voi nousta myös pohjoisemmilla leveysasteilla (Meller ym. 2016).

1.5. Tutkimuksen tavoitteet ja tutkimuskysymykset

Selvitän tässä tutkimuksessa Suomen talvien lintuyhteisöjen muutoksia. Haluan saada selville, ovatko lintuyhteisöt muuttuneet enemmän lämpöä suosiviksi lajiyhteisöiksi ja ovatko nämä muutokset yhteydessä ilmaston lämpenemiseen. Tutkielman tulosten avulla voidaan todeta ilmastonmuutoksen mahdollisia vaikutuksia lintuyhteisöihin.

Tutkimukseni on tärkeä ja ajankohtainen, sillä ilmastonmuutos on tällä hetkellä yksi suurimmista eläimiin vaikuttavista tekijöistä (Parmesan & Yohe 2003, IPCC 2014). Muuttuva ilmasto vaikuttaa lajien yksilömääriin, levinneisyysalueisiin ja tiheyksiin (esim. Parmesan & Yohe 2003, IPCC 2014). Elinympäristöjen muutoksista puhuttaessa lintujen etu moniin muihin eläinryhmiin verrattuna on niiden lentokyky. Linnut pystyvät liikkumaan helposti pitkiä matkoja ja niiden uskotaankin pystyvän reagoimaan ilmastonmuutokseen monia muita lajiyryhmiä nopeammin (Devictor ym. 2012). Lintuja on myös suhteellisen helppo havaita ja tunnistaa, niitä tavataan monenlaisissa elinympäristöissä ja niiden laskenta on helppoa (Gregory ym. 2005). Yksilömäärät ovat usein runsaita ja lintujen elinikä on keskipitkä (Gregory ym. 2005). Linnut ovat usein myös melko korkealla ravintoketjussa, joten ne reagoivat nopeasti monenlaisiin niiden elinympäristössä tapahtuviin muutoksiin; maankäytön muutoksista aina kemiallisiin haitta-aineisiin (Gregory ym. 2005).

Lintuja tutkimalla on mahdollista saada käsitys siitä, miten ilmastonmuutos vaikuttaa lajiyhteisöjen muuttumiseen. Jos lintuyhteisöt ovat muuttuneet, voidaan olettaa, että ilmastonmuutos vaikuttaa myös muiden lajiyhteisöjen koostumukseen. Tästä on saatu viitteitä esimerkiksi perhosten osalta (Devictor ym. 2012).

Tutkimuskysymykseni ovat:

1. Ovatko Suomen talviset lintuyhteisöt muuttuneet ilmastoskenaarioiden mukaisesti? Eli ovatko eteläiset, lämpimiä oloja vaativat lajit runsastuneet suhteessa pohjoisiin kylmää kestäviin lajeihin?
2. Ovatko vuosittaiset muutokset Suomen talvisissa lintuyhteisöissä selitettävissä alkutalven keskilämpötilojen vaihtelulla?

Hypoteesi ensimmäiselle tutkimuskysymykselle on, että lajiyhteisöt olisivat muuttuneet enemmän lämpöä suosiviksi, sillä tämän kaltaisia tuloksia on saatu aiemmissa alan tutkimuksissa pesimäkaudelta (Devictor ym. 2008, Godet ym. 2011, Lindström ym. 2012) sekä talvikaudelta (Princé & Zuckerberg 2015, Santangeli & Lehikoinen 2017). Jos lajiyhteisöt eivät ole muuttuneet enemmän lämpöä suosiviksi, tarkoittaa se sitä, että ilmastonmuutoksella ei ole välttämättä suurta vaikutusta näihin yhteisöihin.

Toisen tutkimuskysymyksen oletuksena on, että alkutalven keskilämpötilojen vaihtelulla voidaan selittää lintuyhteisöjen vuosittaisia muutoksia, sillä tästä on saatu viitteitä mm. talvehtivien vesilintujen osalta (Lehikoinen ym. 2013). Mikkosen ym. (2015) mukaan alkutalven keskilämpötilat ovat nousseet, minkä takia on tärkeä selvittää, mikä on lämpötilan muutoksen vaikutus linnustoon. Esimerkiksi talvehtivat vesilinnut voivat muuttaa talvehtimisalueidensa painopistettä muuttuvien alkutalven keskilämpötilojen takia. Tällä voi olla vaikutusta mm. metsästyksen ja luonnonsuojelupäätöksiin (Lehikoinen ym. 2013). Hypoteesini on, että lämmin alkutalvi lisää lämmintä suosivien lajien osuutta, mutta kylmä alkutalvi puolestaan lisää kylmää suosivien lajien osuutta.

2. Aineisto ja menetelmät

2.1. Talvilintulaskennat

Jotta lintuyhteisöjen muutoksia voidaan tutkia, tarvitaan aineistoa yhteisöjen rakenteesta pitemmältä aikajänteeltä. Tämän tutkimuksen aineisto perustuu Suomessa tehtyihin talvilintulaskentoihin, joita on tehty talvesta 1956/1957 alkaen. Lintulaskennoilla on Suomessa pitkät juuret ja systemaattisia seurantalaskentoja tehdään pesimä- ja talviaikaan vapaaehtoisten voimin. Talvilintulaskentoja tehdään kolmesti talvessa, joista olen käyttänyt joulutammikuussa aikavälillä 25.12–7.1. tehtyjä laskentoja, koska näiden aikasarja on kahta muuta laskentakautta pidempi. Talvilintulaskentoihin kuuluvat myös syys- ja kevtälaskennat (aikavälillä 1.–14.11 ja 21.2.–6.3.), mutta niitä ei ole sisällytetty tämän tutkimuksen aineistoon, sillä näihin laskentoihin saatavat todennäköisesti vaikuttaa syys- ja kevätmuuttajat. Kevtlaskentoja on tehty vuodesta 1967 ja syyslaskentoja vuodesta 1975 (Luomus, talvilintulaskennan ohjeet, <https://www.luomus.fi/fi/talvilintulaskennan-ohjeet>).

Graduaineistossani on laskentoja yhteensä 609 laskentareitiltä alkaen talvesta 1956/1957 talveen 2014/2015. Laskentakertoja eri reiteiltä on kertynyt yhteensä 16857. Aineistoon on otettu mukaan ne laskentareitit, joilla on ollut vähintään 15 laskentakertaa. Lintulajeja aineistossa on yhteensä 133 (Liite 1). Laskentareitin pituus on yleensä noin 5–12 kilometriä, ja se käydään läpi valoisaan aikaan. Suurin osa talvilintulaskennoista tehdään Etelä- ja Keski-Suomessa Pohjois-Suomen ollessa vähemmän edustettuna (Fraixedas ym. 2015). Reitit pyritään laskemaan joka vuosi. Reitiltä lasketaan kaikki nähtyjen ja kuultujen lajien yksilöt. Laskenta voidaan tehdä joko yksin tai pienissä ryhmissä, kuitenkin siten, että laskentatehokkuus pysyy vakiona joka vuosi. Laskijoilla tulisi olla hyvä talvilintutuntemus ja myös lintujen äänet tulee hallita. Laskentoja voi periaatteessa tehdä kuka tahansa ja parhaiten taitoja oppii harjoittelemalla ensin kokeneemman laskijan seurassa (Luomus, talvilintulaskennan ohjeet, <https://www.luomus.fi/fi/talvilintulaskennan-ohjeet>).

Tutustuin tutkielmani aineistossa käytettävien laskentojen tekoon osallistumalla syyslaskentakertaan ohjaajani Aleksi Lehikoisen kanssa. Kyseisen laskentareitin talvilaskennat ovat myös mukana tämän tutkielman aineistossa, koska reitti on laskettu vähintään 15 vuotena.

Laskentareitit jaetaan kahdeksaan habitaattiin, joita ovat a) kaatopaikka, b) kaupunkiasutus, c) maaseutuasutus, d) pelto, e) metsä, f) muu, g) hakkuuaukea tai taimikko ja h) ruovikko tai rantapensaikko. Muu- kategoriaan lasketaan kaikki muut biotoopit ja epämääräiset maastolaikut, joita ei voi muuten luokitella sekä matkalennossa nähdyt linnut (Luomus, talvilintulaskennan ohjeet, <https://www.luomus.fi/fi/talvilintulaskennan-ohjeet>). Laskentojen avulla saadaan tärkeää tietoa muun muassa talvehtivien lintujen määrästä sekä siitä, miten elinympäristöjen muutokset vaikuttavat lintujen runsauksiin (Luomus, talvilintulaskennan ohjeet, <https://www.luomus.fi/fi/talvilintulaskennan-ohjeet>).

2.2. Community Temperature Indexin (CTI) laskeminen

Pro gradu -työni tutkii Suomen talvisten lintuyhteisöjen muutosta käyttämällä Community Temperature Index–menetelmää (tästä lähtien CTI) (Devictor ym. 2008). CTI kuvaa yhteisön lämpötilaindeksiä ja jonka avulla on mahdollista seurata lintuyhteisöjen muutoksia: mitä korkeampi arvo on, sitä enemmän yhteisössä on lämpöä suosivia lajeja. Vastaavasti mitä kylmempi indeksi on, sitä enemmän yhteisöä dominoivat kylmää suosivat lajit. CTI-arvoja voidaan käyttää lintujen lisäksi myös muiden lajiyhteisöjen, kuten perhosten, muutosten kuvaamiseen (Devictor ym. 2012).

CTI:n käyttö tässä tutkimuksessa on perusteltua, koska menetelmää voidaan käyttää luotettavasti kuvaamaan lajiyhteisöjen reaktioita lämpötilojen muutoksiin, kun aineistoa on suuri määrä (Devictor ym. 2008). Lisäksi menetelmää voidaan käyttää vuodenajasta riippumatta (Devictor ym. 2008, Lindström ym. 2012, Princé & Zuckerberg 2015, Santangeli & Lehikoinen 2017). Menetelmä on hyväksytty myös viralliseksi indikaattoriksi, joka kuvaa ilmastomuutoksen vaikutusta biodiversiteettiin (Devictor ym. 2012). Silti CTI-arvojen hyödyntäminen on ollut vielä melko vähäistä, vaikka lämpötilaindeksiä on käytetty lintuyhteisöjen tutkimisessa ensimmäisen kerran jo kymmenisen vuotta sitten (esim. Devictor ym. 2008).

2.2.1. Species Temperature Index-arvot

CTI lasketaan käyttämällä lajikohtaisia Species Temperature Index-arvoja (tästä lähtien STI), jotka kuvaavat yksittäisten lajien lämpötila-arvoa (Devictor ym. 2008). Mitä korkeampi arvo on, sitä enemmän laji on lämpöä suosiva. Vastaavasti mitä alhaisempi arvo on, sitä kylmemmässä ympäristössä laji keskimäärin talvehtii. Kylmää suosivien lajien levinneisyysalueesta suurempi osa kattaa enemmän pohjoisia ja muita kylmempiä alueita ja lämmintä suosivien lajien levinneisyysalueesta suurempi osa kattaa taas enemmän lämpimämpiä, eteläisiä alueita. STI-arvo lasketaan kullekin lajille niiden levinneisyysalueen keskilämpötilan perusteella (Devictor ym. 2008, Lehikoinen ym. 2016). Lämpötila-arvot eivät kuitenkaan kerro sitä, mitkä ovat lajin kylmä- ja lämpösietokyvyn äärirajat.

Suomessa talvella esiintyville lajeille on saatu laskettua STI-arvot (Lehikoinen ym. 2016, Santangeli & Lehikoinen 2017). Levinneisyysalueen keskilämpötilat on laskettu joului-, tammi- ja helmikuulta vuosilta 1950–2000. Lintujen levinneisyystietoina käytettiin lajien talvisia Euroopan ja Afrikan levinneisyysalueita. Joillakin lajeilla Euroopan populaatiot eivät muuta Saharan eteläpuoleiseen Afrikkaan, mutta niillä esiintyy näillä alueilla ympäri vuoden paikkalintuina olevia populaatioita. Tällaisten lajien Saharan eteläpuoleiset populaatiot rajattiin STI-arvojen laskemisen ulkopuolelle. Rajausta tehtiin siitä syystä, että näillä alueilla elävien lintujen ei uskota vaikuttavan talvipopulaatioiden muutoksiin Euroopassa. Lintujen levinneisyystiedot ovat peräisin BirdLife International-sivuston (www.birdlife.org) ylläpitämästä tietokannasta ja keskilämpötilatiedot ovat saatu WorldClim-sivuston (www.worldclim.org) tietokannasta.

2.2.2. CTI-arvot

CTI-arvot kuvastavat lajijyhteisöissä kylmää ja lämmintä suosivien lajien runsauksien keskiarvoa. CTI-arvot saadaan laskettua lajien STI-arvojen avulla seuraavasti: jokainen laskentakerralla havaittu laji saa laskentakohtaisen *runsausosuuden*, joka saadaan jakamalla *havaittujen yksilöiden määrä kokonaisyksilömäärällä*. Esimerkiksi, jos talitiaisia on havaittu laskentakerralla sata yksilöä ja laskentakerran kokonaisyksilömäärä on tuhat, saa talitiainen painoarvokseen 0,1. Tämän jälkeen runsausosuus kerrotaan lajin STI-arvolla (talitiaisen tapauksessa $0,1 * STI (-5,021)$). Kun kaikkien lajien laskentakohtaiset runsausosuudet on kerrottu lajikohtaisilla

STI-arvoilla, lasketaan saadut tulot yhteen, jolloin saadaan laskentakohtainen CTI-arvo (Devictor ym. 2008, Devictor ym. 2012). Hyödynnän tutkimuksessani CTI-arvoja siten, että yksi talvilaskentakerta yhdeltä reitiltä vastaa yhtä lintuyhteisöä, jolle on laskettu CTI-arvo.

2.3. Joulukuun keskilämpötilat

Tässä tutkimuksessa joulukuun keskilämpötilojen vaihtelua verrataan vuosittaisiin CTI-arvojen muutoksiin. Aineistossa (vuodesta 1961 vuoteen 2014) on laskettu vuosittainen koko Suomen kattava keskiarvolämpötila joulukuulle, joka on laskentoja edeltävä ajankohta. Vertailussa joulukuu 1961 vastaa talvilaskentakautta 1961–1962.

Joulukuun keskilämpötiloja on saatavilla kattavasti Suomesta vuodesta 1961 lähtien. Aineisto on ladattavissa Ilmatieteenlaitoksen internetsivuilta (<https://ilmatieteenlaitos.fi/havaintojen-lataus#!/>). Ilmatieteenlaitos laskee päivittäisen keskilämpötilan kahdeksasta yhden vuorokauden aikana tehdystä mittauskerrasta. Lämpötilat mitataan kahden metrin korkeudelta siten, että mittauspiste suojataan auringonvalolta. Kuukauden keskilämpötilat muodostetaan päivittäisten mittausten arvoista (Venäläinen ym. 2005).

2.4. Tilastolliset menetelmät

2.4.1. Vuosittaisten CTI-arvojen laskeminen

Selvitin eteläisten lämpimiä oloja suosivien lajien runsauden suhdetta pohjoisiin kylmää kestäviin lajeihin lineaarisella sekamallilla (*linear mixed model*, GLMM). Tämän mallin käyttö on perusteltua siksi, että tutkimuksessa ollaan kiinnostuneita CTI-arvon pitkäaikaisesta muutoksesta. Kuitenkin CTI-arvot vaihtelevat paikkojen välillä. Esimerkiksi pohjoisen laskentapaikoilla CTI on matalampi kuin etelässä. Tämän takia reitin numero oli analyysissä ns. satunnaismuuttuja (random factor). Malli yhdistää tässä tapauksessa kaikkien reittien vuosittaiset CTI-havainnot niin, että jokaisella reitillä on oma vakioterminsä, mutta mallissa ollaan kiinnostuttu

yleisesti CTI:n pitkäaikaisesta muutoksesta. Tämän takia CTI-arvoja selitettiin laskentavuodella. Lineaarinen sekamalli on kuin regressioanalyysi, mutta jokaisella reitillä on oma vakio-terminsä.

Analyysi toteutettiin kahdella eri tavalla: i) vuosi on lineaarinen muuttuja, jolloin malli antaa tulokseksi miten paljon keskimäärin vuodessa CTI on muuttunut tutkimusjaksolla, ja ii) vuosi on kategorinen muuttuja, jolloin malli antaa tulokseksi CTI:ssä tapahtuneet vuosivaihtelut.

Laskin ensin aineiston jokaiselle reitille vuosittaiset CTI-arvot Excelillä. Tämän jälkeen sekamallinnus tapahtui R-ohjelmalla (R version 3.5.1) (R Core Team 2018) käyttäen lme4-funktiota (Multilevel Model Specification) (Bates ym. 2015).

2.4.2. Joulukuun keskilämpötilojen ja CTI-arvojen analysointi

Toisessa tutkimuskysymyksessä pyritään saamaan vastaus siihen, selittääkö joulukuun keskilämpötilojen muutos vuosittaisten CTI-arvojen muutoksia. Tutkin kysymystä tilastollisesti regressioanalyysillä, joka on yksinkertainen lineaarinen malli. Analyysillä voidaan tutkia joko yhden tai useamman selittävän tekijän vaikutusta selitettävään tekijään. Tässä tapauksessa selittävänä tekijänä oli joulukuun lämpötilojen vuosittainen muutos ja selitettävänä tekijänä CTI-arvojen vuosittainen muutos (Liite 3). Lisäksi halusin selvittää, oliko joulukuun keskilämpötila noussut ja mikäli kyllä, kuinka paljon ja onko lämpötilan nousu ollut tilastollisesti merkitsevää. Tutkin myös tätä kysymystä lineaarisella regressioanalyysillä Fraixedas ym. (2015) tapaan.

Regressioanalyysi lasketaan lausekkeella $y=b_0+b_1x$, jossa

y = selitettävä muuttuja, x = selittävä muuttuja, b_1 = regressiokerroin selittävälle muuttujalle x ja b_0 on vakiotermi (Holopainen & Pulkkinen 2012).

Tarkastelen sitä, miten CTI-arvot muuttuvat vuodesta t vuoteen $t+1$ ja vertaan tätä joulukuun keskilämpötilan muutokseen. Oletuksena on, että, joulukuun keskilämpötilojen muutoksilla voidaan selittää CTI-arvojen muutoksia.

3. Tulokset

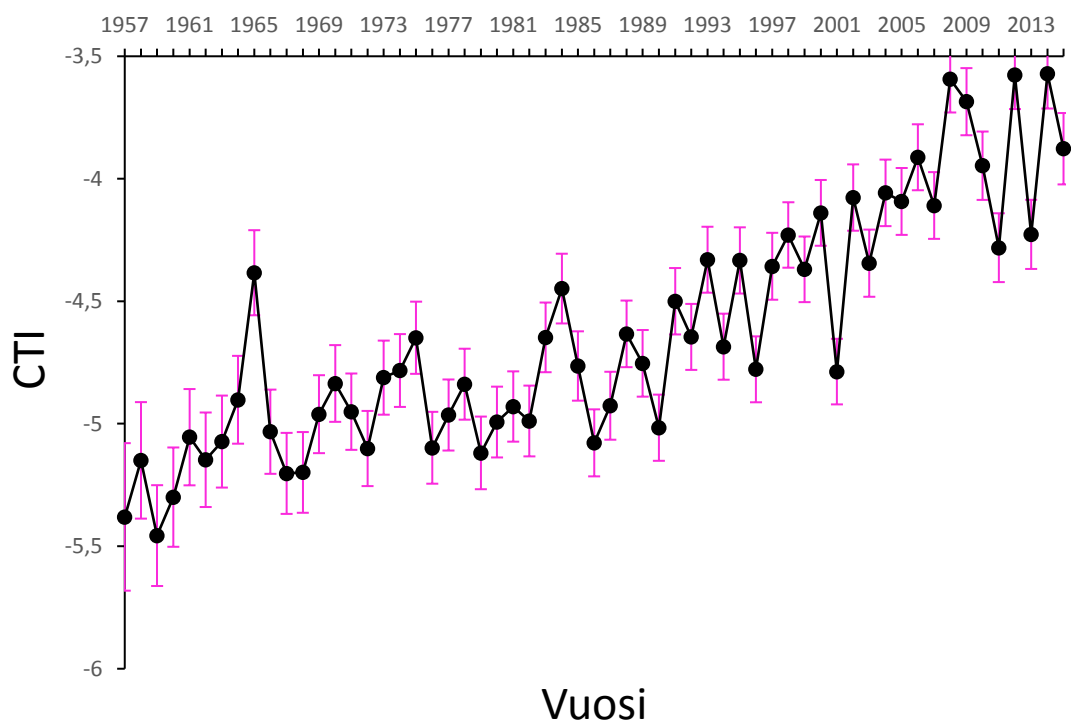
Tutkimuksessa käytettyjen lintulajien STI-arvot ovat nähtävillä liitteessä 1 ja vuosittaiset CTI-arvojen muutokset liitteessä 2. Joulukuun vuosittaiset keskilämpötilat ja regressioanalyysissä käytetyt parametrit on esitetty liitteessä 3. Kaikki liitteet löytyvät tämän tutkielman lopusta.

CTI-arvojen muutos

Lineaarinen sekamallianalyysi osoitti, että koko Suomen vuosittaiset CTI-arvot ovat nousseet merkitsevästi (Taulukko 1) talven 1956/1957 -5.38 celsiusasteesta talven 2014/2015 -3.87 celsiusasteeseen (Kuvaaja 1). CTI-arvot ovat siis nousseet vuoteen 2015 mennessä noin 1.5 celsiusastetta (Liite 2), keskimäärin 0.028 celsiusastetta vuodessa (Taulukko 1).

Taulukko 1. Yleistetyn lineaarisen sekamalli-analyysin tulos.

Parametrit	Estimate	Keskivirhe	df	t-arvo	p-arvo
Intercept	-60.13	1.2780	16760	-47.05	<0.0001
Vuosi	0.02793	0.0006	16740	43.54	<0.0001



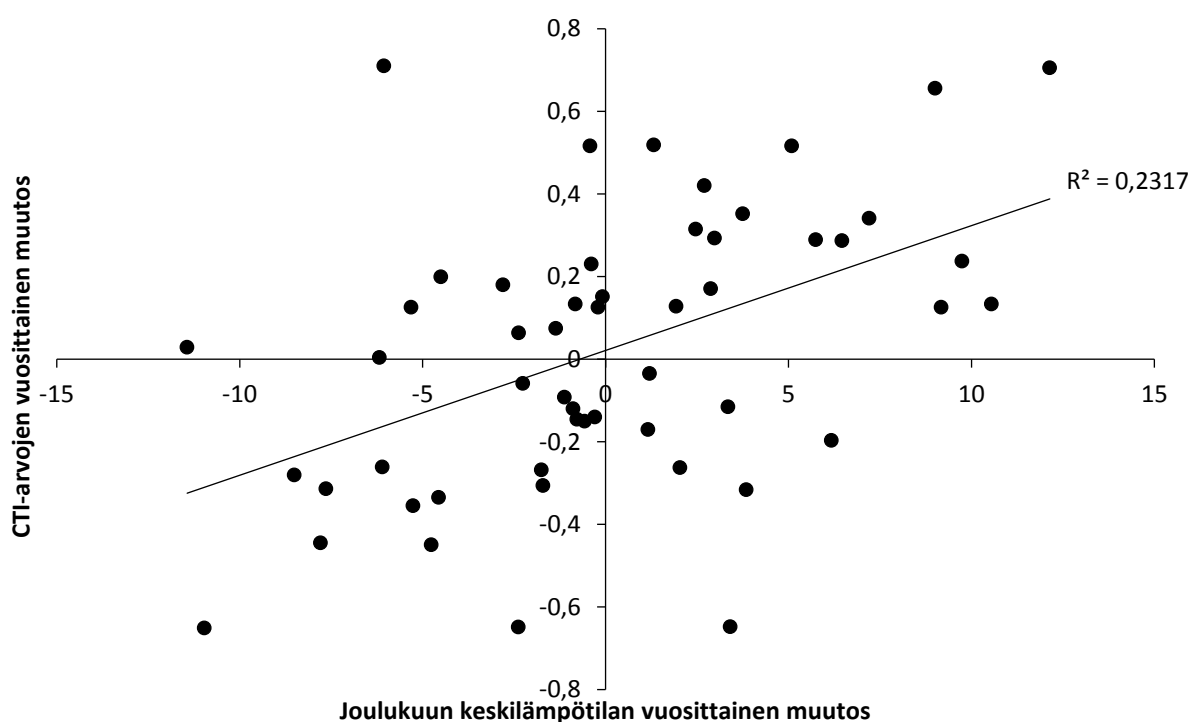
Kuvaaja 1. Vuosittaisten CTI-arvojen muutos Suomessa talvilintulaskentojen perusteella.

Joulukuun keskilämpötilojen nousu selittävänä tekijänä

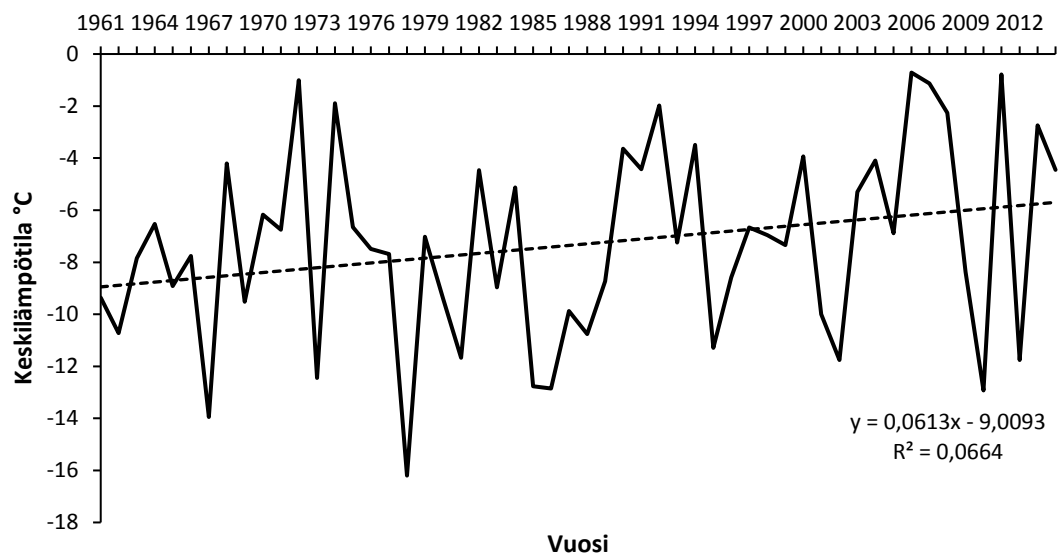
Lineaarinen regressioanalyysi osoitti, että joulukuun keskilämpötilojen muutos selitti CTI-arvojen nousua (Taulukko 2). Yhden asteen lämpötilan muutos lisää CTI-arvoa noin 0.03 celsiusastetta, mikä on merkitsevä tulos. Keskimääräinen CTI-arvon muutos vuosittain on noin 0.02 °C, jos lämpötilan vaikutusta ei huomioida. Tämä tulos ei kuitenkaan ole merkitsevä (Taulukko 2). Tulos on havainnollistettu kuvaajassa 2. Joulukuun keskilämpötilat olivat nousseet lähes merkitsevästi noin 3.29 celsiusastetta ($b = 0.061$ °C, $SE = 0.032$, $t = 1.942$, $P = 0.06$) vuodesta 1961 vuoteen 2014 (Kuvaaja 3).

Taulukko 2. Lineaarisen regressioanalyysin tulos.

Parametrit	Estimate	Keskivirhe	t-arvo	p-arvo
Intercept	0.021158	0.041198	0.514	0.609776
Lämpötila	0.030221	0.007705	3.922	0.000263



Kuvaaja 2. CTI-arvojen ja keskilämpötilan vuosittainen muutos.



Kuvaaja 3. Joulukuun keskilämpötilojen muutos vuosina 1961–2014.

4. Tulosten tarkastelu

Tutkimukseni osoitti, että Suomen talviset lintuyhteisöt ovat muuttuneet talvien 1956/1957–2014/2015 aikana. Talvisia lintuyhteisöjä kuvaava CTI-arvo on kasvanut tilastollisesti merkitsevästi jakson aikana, mikä tarkoittaa, että lämpimiä oloja vaativat lajit ovat runsastuneet suhteessa pohjoisiin kylmää kestäviin lajeihin. Tulokseni tukevat siis ensimmäistä hypoteesia, eli lintuyhteisöt muuttuvat ilmastonmuutoksen osoittamaan suuntaan, kohti lämpöä suosivia yhteisöjä. Tulokset ovat linjassa Pohjois-Amerikan urbaaneilla alueilla ja Suomessa tehtyjen samankaltaisten tutkimusten kanssa (Princé & Zuckerberg 2015, Santangeli & Lehikoinen 2017). Esimerkiksi Santangeli & Lehikoinen (2017) artikkelissa CTI-arvot muuttuivat 1970-80 luvulta 2000-luvulle -4.92 ± 0.10 celsiusasteesta -4.62 ± 0.09 celsiusasteeseen. Tässä tutkimuksessa CTI-arvot nousivat enemmän (-5.38 celsiusasteesta -3.87 celsiusasteeseen), mikä johtuu siitä, että tarkastelujakso on pidempi kuin Santangeli & Lehikoinen (2017) tutkimuksessa. Lisäksi Santangeli ja Lehikoinen tarkastelivat tutkimuksessaan CTI:n muutosta ainoastaan maalintujen osalta.

CTI-arvojen vuosittainen muutos oli positiivisesti yhteydessä joulukuun keskilämpötilojen muutokseen. Tämä tukee toisen tutkimuskysymyksen hypoteesia, jonka mukaan talvi-ilmaston vaihtelu selittää lintuyhteisöjen muutosta. Joulukuun keskilämpötilat olivat nousseet lähes merkitsevästi vuodesta 1961 vuoteen 2014, mikä viittaa siihen, että alkutalven keskilämpötilat nousevat pitkällä aikavälillä johtaen lintuyhteisöjen muutokseen. Joulukuun keskilämpötilat ovat nousseet kuukausista kaikkein eniten 166 vuodessa (Mikkonen ym. 2015). Myös Fraixedas ym. (2015) havaitsivat talvilintulaskentojen ajankohdan keskilämpötilan nousseen 2.5 astetta vuodesta 1961 vuoteen 2011.

Talven keskilämpötilojen nousun on huomattu vaikuttavan talvilintuihin myös Pohjois-Amerikassa, jossa lämpöä suosivat lajit ovat yleistyneet ja kylmää sietävät lajit vähentyneet. Kylmää sietävät lajit ovat myös muuttaneet esiintymisalueitaan pohjoisemmaksi (Princé & Zuckerberg 2015). Eteläiset lajit ovat herkempiä kylmälle ilmalle kuin pohjoiset lajit. Talvien lämmitessä eteläisiä lajeja kuolee vähemmän suhteessa pohjoisiin lajeihin, joten eteläisten lajien tiheydet saattavat lisääntyä (Godet ym. 2011). Kylmemmillä alueilla elävät linnut reagoivat lämpötilan muutoksiin herkemmin kuin lämpimillä alueilla elävät linnut, sillä pienet lämpötilan muutokset

kylmillä alueilla vastaavat suuria lämpötilanmuutoksia lämpimillä alueilla (MacLean ym. 2008).

Vaikka eteläiset lajit työntyvät kohti pohjoista ilmastomuutoksen johdosta, ne eivät kuitenkaan välttämättä vähenny eteläisiltä alueiltaan tai eteläisten levinneisyysrajojen siirtyminen pohjoiseen voi olla vähäistä (MacLean ym. 2008, Massimino ym. 2015). Joidenkin lajien levinneisyysalueet voivat kasvaa merkittävästi, mikäli niiden levinneisyysalueen eteläisillä reunoilla ei tapahdu juurikaan muutosta yksilötiheyksissä (Massimino ym. 2015). Eteläiset lämpöä suosivat lajit voivat saada kilpailuedun, sillä niille ilmastollisesti sopivien elinympäristöjen määrä lisääntyy ja pohjoisilla lajeilla elinympäristöt sen sijaan vähenevät.

Eteläisten levinneisyysrajojen vetäytymistä voi olla kuitenkin hankalampi havaita kuin pohjoiseen päin siirtymistä, sillä uuden alueen asuttamiseen tarvitaan vain yksi yksilö. Siirtyminen uusille alueille voi myös tapahtua suhteellisen nopeasti, jolloin se on helpommin havaittavissa (Shoo ym. 2006). Eteläisessä vetäytymisessä lajien täytyy sen sijaan kuolla alueellisesti sukupuuttoon, mikä saattaa olla pitkäaikainen ja hidas prosessi, jolloin sen havainnointi on vaikeampaa (Shoo ym. 2006). Havainnointiin voi vaikuttaa myös lajien yleisyys. Pohjoiseen levittäytyvät lajit ovat usein yleisiä lajeja, jotka ovat helpommin havaittavissa kuin vetäytyvät, harvinaisemmat lajit (Kujala ym. 2013).

Lintuyhteisöjen leviäminen uusille alueille ei välttämättä tapahdu samanaikaisesti siirtyvien ilmastovyöhykkeiden kanssa. Tähän viittaa esimerkiksi se, että Suomen talvilintulaskentojen ajankohdan keskilämpötila on noussut noin 2.5 astetta (Fraixedas ym. 2015) ja omassa tutkielmassani 3.56 astetta, kun taas CTI-arvot nousivat tutkielmassani noin 1.5 astetta. Tämä tarkoittaa sitä, että yhteisöjen lajirunsauksien muutokset seuraavat usein muutaman vuoden jäljessä keskilämpötilojen muutoksia (Devictor ym. 2008, Lindström ym. 2012, Santangeli & Lehtikoinen 2017). Ruotsissa pesimäaikaisten lintuyhteisöjen CTI-arvot muuttuivat 1–3 vuoden viiveellä vuosien 1975–2009 aikana verrattuna keskilämpötilan muutoksiin (Lindström ym. 2012) ja Ranskassa lintuyhteisöt seurasivat keskilämpötilan muutoksia pohjoiseen 182 ± 53 km jäljessä vuosien 1989–2006 aikana (Devictor ym. 2008).

Hidas yhteisöjen muuttumisnopeus voi johtua erilaisista rajoittavista tekijöistä. Esimerkiksi kasvillisuuden ja muun lajiston täytyy muuttua ensin, yksilöt voivat olla paikkauskollisia tai ne voivat noudattaa varovaisuusperiaatetta: ilmaston mukana on turha siirtyä, jos seuraava vuosi

on kylmempi kuin edellinen (keskustelu 21.11.2018, Aleksi Lehikoinen, Helsingin luonnontieteellinen keskusmuseo). Lintuyhteisöillä muuttumisnopeus saattaa olla jo maksimaalista, eikä sen ole enää mahdollista nopeutua (Devictor ym. 2008).

4.1. Ilmastonmuutoksen vaikutus lintuyhteisöihin

Muutokset lintuyhteisön lämpötilaa mittaavissa CTI-arvoissa voivat johtua muutamien lajien yksilömäärien muutoksista (Devictor ym. 2012). CTI-arvot voivat nousta joko siten, että kylmää ilmaa suosivat lajit vähenevät tai vastaavasti lämmintä ilmaa suosivat lajit yleistyvät (Princé & Zuckerberg 2015, Bowler & Böhning-Gaese 2017, Oliver ym. 2017). Viitteitä on saatu kuitenkin siitä, että CTI-arvojen nousu johtuisi enemmän kylmää suosivien lajien tiheyksien vähenemisestä kuin lämmintä ilmaa suosivien lajien lisääntymisestä (Bowler & Böhning-Gaese 2017, Oliver ym. 2017). Tämä voisi tarkoittaa sitä, että ilmastonmuutos rajoittaa lintuyhteisöjen yksilömäärää (Bowler & Böhning-Gaese 2017).

Pohjois-Amerikassa talvisia CTI-arvoja muuttavat yleensä positiivisemmaksi osittaismuuttajat ja sellaiset lajit, joiden levinneisyysalue kattaa enemmän eteläisiä alueita (Princé & Zuckerberg 2015). Vaikka en tässä työssä tarkastellut, mitkä lajit aiheuttavat voimakkaimpia yhteisömuutoksia, Suomessa esimerkiksi tukkasotkilla (*Aythya fuligula*) on todennäköisesti CTI-arvoja nostattava vaikutus. Tukkasotkan STI-arvo on 12.16 °C eli niiden talvehtimisalueet kattavat enemmän eteläisiä alueita ja niiden määrien on todettu lisääntyneen Suomen talvilintulaskennoissa (Fraixedas ym. 2015). Useiden lounaissaariston laskentareittien tukkasotkamäärät ovat kasvaneet voimakkaasti samalla, kun monien muiden lajien määrät ovat pysyneet melko tasaisina. Tukkasotkan talvimäärien muutokset on myös yhdistetty alkutalven lämpötilan nousuun eli määrien runsauden kasvun takana on ilmaston lämpeneminen (Lehikoinen ym. 2013).

Talvisten vesilintujen runsastuminen voi johtua jäättömien alueiden lisääntymisestä. Tällöin lajit voivat viivytellä vesistöalueilla ennen muutolle lähtöä. Jäiden muodostuminen viivästynee tulevaisuudessa (Fraixedas ym. 2015). Myös muiden vesilintujen määrän on huomattu nousseen talvilintulaskennoissa (Fraixedas ym. 2015). Näilläkin lajeilla voi olla CTI-arvoja nostattava vaikutus, sillä monen vesilintulajin STI-arvot ovat positiivisia (ks. liite 1), ja ne voivat viivytellä vapailla vesialueilla tukkasotkan tavoin. Lintulajien suhteelliset määrät voivat siis muuttua, mutta lajikoostumus saattaa pysyä samana (Lindström ym. 2012). Muutokset lajien

suhteissa voivat johtua esimerkiksi vuosittaisista tulo- ja lähtömuuton muutoksista. Toisaalta CTI-arvojen vaihtelu voi johtua siitä, että lajit ovat korvautuneet toisilla (Lindström ym. 2012).

Lajien siirtyminen pohjoiseen ei ole myöskään suoraviivaista, sillä lajien tiheyksien painopiste voi siirtyä eri ilmansuuntien välillä. Esimerkiksi metsä-, kaupunki- ja kosteikkolintujen tiheyksien painopisteet ovat siirtyneet hieman eri alueille. Tähän voi vaikuttaa muun muassa muuttostrategia ja lajin elinympäristön valinta (Lehikoinen & Virkkala 2016). Sopivat olosuhteet eivät myöskään välttämättä muutu lineaarisesti lämpötilamuutosten kanssa (Välimäki ym. 2016). Myös maanpinnan muodoilla voi olla vaikutusta levinneisyysalueiden muutoksiin (Lehikoinen & Virkkala 2016).

Lajien levinneisyysalueen koko vaikuttaa lajien puskurointikykyyn ilmastonmuutosta vastaan. Mitä laajempi alue on, sitä paremmin lajit selviävät ilmastonmuutoksesta (Jetz ym. 2007). Tämä saattaa vaikuttaa erityisesti niihin lajeihin, jotka ovat erikoistuneet tiettyihin elinympäristöihin ja joilla on jo valmiiksi pieni populaatiokoko (Lande ym. 2003). Jotta lajit ylipäänsä pystyvät siirtymään uusille alueille, niillä täytyy olla fysiologinen kyky levittäytyä aikaisemmin asuttamattomille alueille (MacLean & Beissinger 2017).

Varsinaisten muuttolintujen oletetaan sopeutuvan ilmastonmuutokseen paikkalintuja paremmin, sillä muuttavilla lajeilla uskotaan olevan parempi levittäytymiskyky kuin ei-muuttavilla linnuilla (Princé & Zuckerberg 2015). Lähimuuttajilla levittäytymiskyky on taas parempi kuin kaukumuuttajilla, sillä lähimuuttajien fenologia on luultavasti joustavampaa (Both ym. 2010). Toisaalta paikkalinnut voivat hyötyä leudoista talvista, sillä nämä lajit ovat usein sopeutuneet kylmiin olosuhteisiin ja lämpenevät talvet hyödyttävät niitä (Rodenhouse ym. 2009). Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa monien paikkalintujen populaatiomäärät ovat kasvaneet luultavasti siitä syystä, että talvet ovat leudontuneet (Rodenhouse ym. 2009).

Spesialistit ovat todennäköisesti herkempiä ilmastonmuutokselle kuin generalistit (Jiguet ym. 2010). Spesialistien ekologinen lokero on kapea, joten niillä ei ole juuri joustovaraa olosuhteiden muuttuessa. Esimerkiksi lajien pysyminen uusilla alueille vaatii erinomaista ravinnonetsintäkykyä. Generalistit, jotka käyttävät monia ravintolähteitä, löytävät todennäköisesti helpommin ruokaa kuin spesialistit, jotka ovat erikoistuneet vain tiettyyn ravintoon. Jotta spesialistit voivat levittäytyä uusille alueille, myös niiden ravinnoksi käyttämän eliölajin täytyisi levittäy-

tyä muualle (Buckley & Kingsolver 2012). Näin ollen generalistit saattavat saada etulyöntiaseman uusien alueiden asuttamisessa. Toisaalta specialistilajien ravinnon saatavuus voi myös parantua jää- ja lumipeitteen vähenemisen myötä (keskustelu 21.11.2018, Aleksi Lehikoinen, Helsingin luonnontieteellinen keskusmuseo).

CTI-arvoja voivat nostaa erityisesti lämpöä suosivien generalistilajien yleistyminen, sillä ilmastomuutos vaikuttaa näihin lajeihin positiivisesti (Davey ym. 2012, Pearce-Higgins ym. 2015). Keskilämpötilojen nousu vaikuttaa negatiivisemmin esimerkiksi kylmemmillä alueilla eläviin habitaattispecialisteihin kuin lämpimillä alueilla eläviin habitaattigeneralisteihin (Pearce-Higgins ym. 2015). Specialistilajien onkin huomattu vähenevän samalla kun generalistit yleistyvät (Davey ym. 2012). Tämä voi johtaa yhteisöjen paikallisiin yksipuolistumisiin, joita voi tapahtua esimerkiksi urbaaneilla alueilla (Davey ym. 2012).

Lämpöä suosivat pienikokoiset lajit voivat nostaa CTI-arvoa positiivisemmaksi isokokoisempia lajeja enemmän. Tämä tarkoittaa sitä, että pienikokoisemmat lajit reagoisivat muuttuvaan ilmastoon isokokoisempia nopeammin (Princé & Zuckerberg 2015, Välimäki ym. 2016, MacLean & Beissinger 2017). Esimerkiksi Pohjois-Amerikassa urbaanien alueiden talvisten lintuyhteisöjen CTI-arvoihin vaikuttavat eniten pienikokoiset linnut (Princé & Zuckerberg 2015).

Pienikokoisten lintujen nopeampaa reagointia ilmastomuutokseen voidaan selittää Bergmanin säännöllä, jonka mukaan lämpimämmillä alueilla esiintyy enemmän pienempikokoisia lajeja kuin pohjoisemmilla, kylmemmillä alueilla (Princé & Zuckerberg 2015). Isokokoisilla lajeilla voi puolestaan olla hitaampi sukupolven kierto sekä pienempi poikastuotanto, joka hidastaisi niiden levittäytymistä verrattaessa pienempiin lajeihin (Välimäki ym. 2016). Pienikokoiset lajit ovat myös yleensä runsaampia ja ne levittäytyvät uusille alueille isokokoisia nopeammin, joten pikkulintujen vaikutus voi olla yhteisömuutoksissa suurempi (Princé & Zuckerberg 2015).

Koska tutkielmassani ei tarkasteltu yksittäisiä lintulajeja vaan suurempia yhteisökokonaisuuksia, erikokoisten lajien vaikutus CTI-arvoihin ei ole tiedossa. Pienempikokoisten lajien CTI-arvoa nostattava vaikutus voi kuitenkin hyvin olla mahdollista myös omassa tutkielmassani, sillä alkutalven keskilämpötilat ovat nousseet myös Suomessa (Mikkonen ym. 2015). Keskilämpötilojen nousu on Suomessa nopeampaa kuin maailmanlaajuinen lämpenemisen trendi (Mikkonen ym. 2015).

4.2. Muita lintuyhteisöihin vaikuttavia tekijöitä

Lintuyhteisöjen tiheyksien muutoksiin vaikuttavat ilmastonmuutoksen lisäksi myös monet muut tekijät. Etenkin elinympäristöjen pirstaloituminen ja tuhoutuminen vaikuttavat tiheyksiin negatiivisesti. Elinympäristöjen muutosten merkittävimpana aiheuttajana ovat tehomaaalous, lisääntyneet metsien hakkuut ja muut maankäytön muutokset. Talvirokinnan lisääntymisellä on puolestaan ollut positiivinen vaikutus lintuyhteisöjen tiheyksiin etenkin Suomessa (Jokimäki ym. 2002, Jetz ym. 2007, Jiguet ym. 2007, La Sorte & Thompson 2007, Fraixedas ym. 2015, Oliver ym. 2017).

Metsiä elinympäristöinä käyttävien lajien määrät ovat huomattavasti suurempia metsäisillä alueilla kuin taimikoissa tai hakkuualueilla, joten metsien hakkuut ja ikärakenteiden muutokset vaikuttavat lajistoon (Fraixedas ym. 2015b). Metsiä elinympäristönä käyttävien lajien määrät ovatkin vähentyneet (Fraixedas ym. 2015b), ja esimerkiksi hömö- ja töyhtötaisen taantuman tärkeimpinä syinä ovat juuri vanhojen metsien määrän karsiminen sekä metsien hakkuut (Väisänen & Solonen 1997). Hömö- ja töyhtötaisten STI-arvot ovat alhaiset, joten näiden lajien väheneminen voi aiheuttaa CTI-arvojen nousua. Toisaalta CTI-arvojen nousuun metsäisillä alueilla voi vaikuttaa enemmän sellaisten lajien lisääntyminen, joilla on positiivisempi STI-arvo (Kampichler ym. 2012).

Ilmastonmuutoksen ja maankäytön yhteisvaikutukset lajien tiheyksiin ovat ympäristöstä riippuvaisia, eivätkä kaikki lintuyhteisöt reagoi näihin muutoksiin samalla tavalla (Kampichler ym. 2012, Oliver ym. 2017). Esimerkiksi maankäyttö voi vaikuttaa negatiivisesti samalla alueella elävien sekä kylmää suosivien, että lämmintä ilmaa suosivien lajien tiheyksiin (Oliver ym. 2017). Tosin vaikka maankäytön muutosten on todettu vaikuttavan lintujen runsauteen (Jiguet ym. 2007), elinalueilla tapahtuneet muutokset selittävät vain pientä osaa talvilintujen tiheyksien siirtymisestä pohjoiseen (La Sorte & Thompson 2007).

Lintuyhteisöihin voivat vaikuttaa myös elinympäristötyypit. Davey ym. 2012 havaitsivat Britanniassa tehdyssä tutkimuksessaan, että toiset elinympäristöt ovat alttiimpia häiriöille kuin toiset. Myös Hollannissa on tehty vastaavia havaintoja, sillä Kampichler ym. 2012 tutkimuksessa lintuyhteisöjen CTI-arvot nousivat metsäisillä ja rannikkoalueilla ja vähenivät aukeammilla

maaseutualueilla. Kaupunki- ja viljelyalueiden lisääntymisen onkin huomattu vaikuttavan negatiivisesti kylmää suosivien lintujen määriin, mutta positiivisemman STI-arvon omaaviin lajeihin sillä ei ole huomattu olevan suurta vaikutusta (Oliver ym. 2017).

Maaseudulla elävillä lintulajeilla voi olla CTI-arvoja nostattava vaikutus, sillä niiden on oletettu jopa hyötyvän ilmaston lämpenemisestä, vaikka niiden yksilömäärät ovatkin vähentyneet (Bowler & Böhning-Gaese 2017). Mahdollinen positiivinen vaikutus CTI-arvoihin johtuu siitä, että maaseudulla elävät lajit suosivat lämpimämpiä ympäristöoloja kuin esimerkiksi metsissä elävät lajit (Bowler & Böhning-Gaese 2017).

Elinympäristöjen muutokset aiheuttavat eliöille ongelmia etenkin silloin kun yksilöt eivät pysty siirtymään uusille elinalueille. Jokin maantieteellinen rajoite, kuten Jäämeri, voi estää lajeja leviämistä muualle (Virkkala & Lehikoinen 2014). Lajit, joilla on laajempi ekolokero, voivat sopeutua helpommin ympäristömuutoksiin kuin sellaiset lajit, joilla on kapeampi ekolokero (Bowler & Böhning-Gaese 2017). Esimerkiksi läntisessä Hollannissa avoimet alueet ovat vähentyneet kaupungistumisesta ja lisääntyneistä talousmetsistä johtuen. Muutokset ekosysteemien laadussa ovat aiheuttaneet specialistien vähentymistä ja generalistien yleistymistä (Van Turnhout ym. 2007) ja laajat ympäristömuutokset voivat vaikuttaa lintuihin enemmän kuin pienet, paikalliset muutokset (Oliver ym. 2017).

Lintujen liikkumista helpottaa niiden lentokyky, joka on selkeä etu verrattuna esimerkiksi nisäkkäisiin. Lentokyky on tosin hyödytön, jos suotuisat elinympäristöt vähenevät. Monet metsälintulajit ovatkin vähentyneet juuri elinympäristöjen katoamisesta johtuen viimeisten viidenkymmenen vuoden aikana (Fraixedas ym. 2015b).

Talvella ravinnonsaanti on tärkeä lintujen määrää rajoittava tekijä. Lisääntyneellä lintujen talviruokinnalla saattaakin olla vaikutusta tuloksiin, sillä ruokinnat lisäävät laji- ja yksilörunsautta ja ruokinnalla on positiivinen vaikutus kaupunkilajien runsastumiseen (Jokimäki ym. 2002, Fuller ym. 2008, Väisänen 2008). Esimerkiksi sinitiainen (*Cyanistes caeruleus*) ja pikkuvarpunen (*Passer montanus*) ovat hyötyneet ruokinnoista (Fraixedas ym. 2015). Talviruokinnat ovat yleistyneet Suomessa nopeasti (Vepsäläinen ym. 2005) ja Suomessa ruokinnoilla käyvät linnustot ovat monipuolistuneet talvien 1989–2007 aikana. Jopa 34 lajin yksilömäärät ovat run-

sastuneet (Väisänen 2008). Runsastumiseen voi myös vaikuttaa tarjotun ruoan laadun paraneminen (Väisänen 2003). Linnuille myytävien auringonkukansiementen myyntien määrä onkin viisinkertaistunut 1980-2000-lukujen aikana (Väisänen 2008).

Ruokinnoilla on suuri merkitys myös muualla maailmassa, esimerkiksi Britanniassa (Robb ym. 2008). Britanniassa ruokinnoilla on huomattu tosin olevan myös negatiivisia vaikutuksia linnustoon. Ruokinnoilla liikehtivät linnut voivat esimerkiksi houkutella alueelle petoja. Taudit saattavat myös levitä helposti epäsiistillä ruokintapaikalla (Robb ym. 2008). Ruokinnat lisäävät aikuisten lintujen selviytymistä, mikä puolestaan kiristää lajien välistä kilpailua (Robb ym. 2008).

Keinotekoiset ruokintapaikat parantavat kuitenkin lintujen mahdollisuuksia selvitä talven yli ja myös monet muuttavat lajit saattavat jäädä ruokinnoille talvehtimaan (Jokimäki ym. 1996, Robb ym. 2008). Ruokintapaikalle saattaa jäädä esimerkiksi talvehtimista yrittäviä, lämpöä suosivia lajeja, joilla on CTI-arvoa nostattava vaikutus. Tällainen laji voisi olla esimerkiksi peippo (*Fringilla coelebs*), jonka STI-arvo on positiivinen. Tulevaisuudessa talvien tullessa yhä leudommiksi, ruokintapaikoille voi jäädä enemmän peipon kaltaisia CTI-arvoja nostattavia lajeja. Toisaalta Britanniassa leutoina talvina ravinto ei juuri rajoita lintujen selviytymistä, joten ruokintapisteillä ei silloin välttämättä ole niin suurta merkitystä (Robb ym. 2008).

Suomessa talviruokinta puolestaan on edelleen tärkeä tekijä (Väisänen 2008). Noin 60 lajin on huomattu Suomessa käyttävän ruokintoja yleisesti (Väisänen 2008) ja hyvä talviruokinta vaikuttaa positiivisesti lajien seuraavan vuoden pesimiseen (Robb ym. 2008). Ruokintapaikat parantavat lajien kykyä ylittää luonnollisia, levinneisyyttä rajoittavia tekijöitä (Jokimäki ym. 2002).

Lajien vaikutusten lisäksi olisi hyvä selvittää myös yksilöiden vaikutus yhteisöihin. Tulevaisuuden tutkimuksen aiheena voisi olla esimerkiksi miten eri yksilöt reagoivat lämpötilan muutoksiin, vaikuttavatko CTI-arvoihin enemmän aikuiset vai nuoret yksilöt ja vaikuttaako sukupuoli CTI-arvoihin (Lehikoinen ym. 2013). Esimerkiksi punasotkan (*Aythya ferina*) sukupuolet voivat talvehtia eri alueilla (Carbone & Owen 1995) jolloin ne voivat reagoida ilmastonmuutokseen eri tavoin (Lehikoinen ym. 2013). CTI-arvoihin vaikuttavien lajien ja yksilöiden selvittäminen on tärkeää esimerkiksi siitä syystä, että se voi nopeuttaa ympäristössä tapahtuvien muutosten huomaamista ja niihin reagoimista.

4.3. Tutkimuksen luotettavuus

Tutkimukseni luotettavuutta saattavat heikentää epätäydelliset laskentasarjat. Vaikka lineaarinen sekamalli ottaa huomioon lyhyemmät laskentasarjat ja suhteuttaa kaikki laskentavuodet toisiinsa pitkällä aikavälillä, laskentoja ei ole tehty joka vuosi. Lisäksi laskentareittien määrät vaihtelevat vuosittain. Tällä saattaa olla vaikutusta vuosittaisiin CTI-arvoihin. Paras mahdollinen tilanne olisi, jos jokainen reitti olisi laskettu joka vuosi. Tämä ei kuitenkaan ole mahdollista laskijoiden ja laskentareittien vaihtuvuuden, sekä osan reittien lopettamisen takia. Toisaalta tutkielmani tulosten luottamusvälit ovat melko pieniä, mikä puhuu tulosten luotettavuuden puolesta (Kuvaaja 1). Tulokseni olivat myös linjassa monen muun samankaltaisen tutkimuksen kanssa (esim. Princé & Zuckerberg 2015, Santangeli & Lehikoinen 2017), joten epätäydellisillä laskentavuosilla ei näyttäisi olevan suurta vaikutusta tuloksiin.

Tutkielmani ei ota huomioon Suomea eri osa-alueina eikä siinä tutkita alueellisia CTI-arvojen eroja, vaan CTI-arvoja tarkastellaan koko Suomen mittakaavalla. Toisin sanoen tutkielmani yleistää tulokset koskemaan koko Suomea. Jos arvoja tarkasteltaisiin alueittain, saataisiin laajempi käsitys siitä, miten eri alueiden lintuyhteisöt ovat muuttuneet. Joidenkin alueiden CTI-arvot voivat muuttua enemmän kuin toiset ja paikallisesti CTI-arvot saattavat jopa laskea. Toisaalta CTI-arvojen laskua pitkällä aikavälillä ei ole huomattu aikaisemmissa lintuyhteisötutkimuksissa (Devictor ym. 2008, Godet ym. 2011 Lindström ym. 2012, Princé & Zuckerberg 2015, Santangeli & Lehikoinen 2017). Lintulaskennat painottuvat myös etelään, joten Pohjois-Suomen alueet ovat laskennoissa aliedustettuja. Tällä saattaa olla vaikutusta tuloksiin, mikäli pohjoisen CTI-muutos eroaa etelän alueesta.

Joulukuun keskilämpötiloja ei ole saatavilla koko Suomelle ennen vuotta 1961, joten tutkimuksessani ei tule esille talvien 1956/57 keskilämpötilojen vaikutusta CTI-arvojen muutoksiin. Jos tutkielmassani olisi tutkittu Suomea alueittain, voitaisiin silloin joiltain alueilta saada keskilämpötiloja aikaisemmiltakin vuosilta. Tuloksista ei kuitenkaan jää pois kuin muutama vuosi, joten näillä ei todennäköisesti ole merkitystä pitkällä aikavälillä.

Tulokseksi saamani keskilämpötilan muutos ei ollut tilastollisesti merkitsevä ja se oli hieman korkea verrattuna esimerkiksi Mikkosen ym. (2015) ja Fraixedas ym. (2015) tutkimuksiin. On kuitenkin otettava huomioon, että edellä mainituissa tutkimuksissa tarkasteluvuosia oli eri määrä ja myös tarkasteluajankohta oli eri. Kuitenkin on myös huomattava, että luonnolliset

systemit ja aikasarjat vaihtelevat, eikä lineaarisen kuvaajan käyttäminen ole aina mielekasta näiden ilmiöiden kuvaamiseksi (Mikkonen ym. 2015). Tästä johtuen täydellisen kuvan saamiseksi olisi hyödyllistä soveltaa esimerkiksi dynaamista regressiomallia (Mikkonen ym. 2015). Lisäksi tarkasteleman aikajakso voisi olla pidempi, sillä lyhyissä aikajaksoissa epävarmuus ja kaikki muut vaikuttavat tekijät lisääntyvät.

CTI-arvojen muutokset eivät välttämättä johdu ainoastaan keskilämpötilojen muutoksista, vaan CTI-arvoihin voivat vaikuttaa myös muut muutokset elinalueilla (Clavero ym. 2011, Bowler & Böhning-Gaese 2017). Tämä voi vaikuttaa CTI-arvojen luotettavuuteen (Clavero ym. 2011). Esimerkiksi erilaisten habitaattimuutosten tai ruokintojen vaikutusta tuloksiin ei voida tarkkaan todeta, sillä laskentareittien habitaattimuutokset ja ruokintojen sijainnit eivät ole nähtävissä aineistosta. Ruokinnan vaikutus tuloksiin voi kuitenkin lähtökohtaisesti pitää paikkansa, sillä talviruokinta on lisääntynyt Suomessa ja hyvin monet lajit käyttävät niitä (Vepsäläinen ym. 2005). Tämän takia voidaan olettaa, että monet laskentareitit sisältävät ruokintoja.

Monet laskentareitit sisältävät myös metsäisiä alueita. Vanhojen metsien määrät ovat vähentyneet huomattavasti, metsien ikärakenne on nuorentunut ja 1990-luvulla metsien hakkuut olivat myös erittäin voimakkaita (Metsätilastollinen vuosikirja 2012). Vanhojen metsien väheneminen vaikuttaakin negatiivisesti metsälajien määrään (Fraixedas ym. 2015b). Näistä syistä habitaattimuutosten aiheuttamat linnustomuutokset ovat myös todennäköisiä. CTI-arvojen tulkitsemisessa täytyy täten ottaa huomioon myös muut muutokset ympäristössä. Jos CTI-arvojen muutokset tulkitaan väärin, saatetaan tehdä virheellisiä johtopäätöksiä siitä, mihin lajeihin ilmastonmuutos oikeasti vaikuttaa (Bowler & Böhning-Gaese 2017). Tosin tutkielmassani löytyi yhteys keskilämpötilan ja CTI-arvojen nousun välillä, mikä todistaa ilmaston vaikutuksen olevan kiistaton CTI-arvojen pitkäaikaismuutoksessa.

Lajien STI-arvot saattavat vaihdella vuosittain (Devictor ym. 2008). Ilmastonmuutos muuttaa lajien levinneisyysalueita, mikä vaikuttaa lajien STI-arvoihin ja edelleen CTI-arvoihin. Näin ollen myös CTI-arvot voivat vaihdella vuosittain. STI-arvot vaihtelevat myös vuodenajan mukaan jolloin ne voivat olla samalla lajilla erisuuruiset kesällä ja talvella. Lisäksi lajien levinneisyysalueet voivat todellisuudessa poiketa niiden tunnetuista levinneisyysalueista. Tällä olisi vaikutusta todellisiin STI-arvoihin (Devictor ym. 2008). Vaihtelut ovat kuitenkin yleensä niin pieniä, ettei niillä ole todennäköisesti vaikutusta tuloksiin pitkällä aikavälillä (Devictor ym. 2008).

Myös laskentareittien laskentatarkkuus saattaa vaikuttaa CTI-arvoihin. Kokematon laskija ei välttämättä huomaa kaikkia yksilöitä, jolloin lintuja jää laskematta. Yleensä laskentatarkkuus parantuu kuitenkin kokemuksen karttuessa. Myös ikä saattaa vaikuttaa laskentatulokseen, sillä esimerkiksi hippiäisen kuuleminen voi vaikeutua havainnoitsijan kuulon heikennyttyä.

Laskentojen laatuun voi vaikuttaa myös lajien yleisyys. Yleiset lajit huomataan helposti, mutta vähemmän yleiset ja piilottelevat lajit saattavat jäädä laskematta (Thomas 2010). Toisaalta yleisillä lajeilla täytyisi tällöin olla täysin erilainen STI-arvo kuin vaikeammin havaittavilla lajeilla, joko korkeampi tai matalampi. Tämä on hyvin epätodennäköistä, joten laskematta jääneillä lajeilla ei suurella todennäköisyydellä ole vaikutusta tuloksiin (keskustelu 21.11.2018, Aleksi Lehikoinen, Helsingin luonnontieteellinen keskusmuseo).

5. Johtopäätökset

Tutkielmani osoitti, että ilmastonmuutos vaikuttaa talvisiin lintuyhteisöihin. Molemmat tutkimushypoteesini osoittautuivat oikeiksi, sillä Suomen talviset lintuyhteisöt ovat muuttuneet enemmän lämpöä suosiviksi yhteisöiksi ja muutokset ovat yhteydessä vuosittaiseen alkutalven keskilämpötilojen nousuun. Tuloksia tukevat tutkimukset, joissa CTI-arvojen muutoksia on tutkittu sekä talvella (Princé & Zuckerberg 2015, Santangeli & Lehikoinen 2017) että kesällä (Devictor ym. 2008, Lindström ym. 2012).

CTI-arvojen nousu viittaa siihen, että kylmää ilmaa suosivat lajit ovat joko vähentyneet tai lämmintä ilmaa suosivat lajit yleistyneet Suomessa (Princé & Zuckerberg 2015, Bowler & Böhring-Gaese 2017, Oliver ym. 2017). Lajiyhteisöt eivät kuitenkaan muutu yhtä nopeasti kuin keskilämpötilat, vaan ne seuraavat muutoksia usein muutaman vuoden jäljessä (Devictor ym. 2008, Lindström ym. 2012, Santangeli & Lehikoinen 2017). Aineistoni keskilämpötilan nouseva trendi viittaa siihen, että alkutalven keskilämpötilat nousevat pitkällä aikavälillä ja vaikuttavat näin lintuyhteisöjen muutokseen vielä tulevaisuudessakin.

Se, miten nopeasti linnut sopeutuvat ilmastonmuutokseen ja muuttuviin talviolosuhteisiin, on lajikohtaista (Jiguet ym. 2010). Ne lajit, joiden kyky mukautua ilmaston muutokseen on huono, ovat kaikkein suurimmassa vaarassa hävitä (Foden ym. 2013). Talvet tulevat muuttumaan ilmastonmuutoksen myötä ja tällä voi olla negatiivisia seurauksia: eteläiset lajit vievät elintilaa pohjoisilta, kylmää suosivilta lajeilta ja lajistomuutoksilla voi olla vaikutusta koko ekosysteemin toimintaan (Godet ym. 2011, Thuiller ym. 2014).

Työni perustuu yli 50 vuotta kestäneisiin, kansainvälisesti poikkeuksellisen kattaviin talvilintulaskentoihin. Näillä laskennoilla on merkittävä rooli linnuston seurannassa myös jatkossa. Laskennoista saatava tieto on arvokasta lajiyhteisömuutosten ja lajien säilymisen kannalta. Tutkimuksen tulisi tulevaisuudessa kohdistua yhä enemmän ilmastonmuutoksen ja elinympäristöjen muutosten yhteisvaikutukseen, jolla on todennäköisesti merkittävä vaikutus lajiyhteisöihin.

6. Kiitokset

Erittäin iso kiitos ohjaajalleni Aleksi Lehikoiselle (FT), joka kärsivällisesti jaksoi antaa asian-tuntevia ohjeita ja neuvoja tutkielmaani varten. Kiitos Hannu Pietiäiselle (FT) hyvistä gradu-kursseista ja kommentteista gradun alkuvaiheessa. Kiitos myös kihlatulleni Satu Saloselle (FM), jota ilman en olisi saanut tätä tutkielmaa tehtyä. Kiitän myös hyvää ystävääni Niko Pagkratista (VTK) yhteisistä gradutuskailuista, Lilli-kissaa henkisestä tuesta, sekä muita läheisiäni ja ka-vereita gradun lukemisesta ja kannustuksesta. Lopuksi tahdon kiittää talvilintulaskijoita, jotka tekevät arvokasta työtä. Ilman heitä tietomme talvisista lintupopulaatioista olisivat heikommat.

Kirjallisuus

- Barbet-Massin, M., Thuiller, W., Jiguet, F. 2011: The fate of European breeding birds under climate, land-use and dispersal scenarios. — *Global Change Biology* 18:881–890.
- Bates, D., Maechler, M., Bolker, B., Walker, S. 2015: Fitting linear mixed-effects models using lme4. — *Journal of Statistical Software* 67: 1–48.
- Both, C., Van Turnhout, C. A. M., Bĳlsma, R. G., Siepel, H., Van Strien, A. J., Foppen, R. P. B. 2010: Avian population consequences of climate change are most severe for long-distance migrants in seasonal habitats. — *Proceedings of the Royal Society B* 277:1259–1266.
- Both, C., Artemyev, A. V., Blaauw, B., Cowie, R. J., Dekhuijzen, A. J., Eeva, T., Enemar, A., Gustafsson, L., Ivankina, E. V., Järvinen, A., Metcalfe, N. B., Nyholm, N. E. I., Potti, J., Ravussin, P.-A., Sanz, J. J., Silverin, B., Slater, F. M., Sokolov, L. V., Török, J., Winkel, W., Wright, J., Zang, H., Visser, M. E. 2004: Large-scale geographical variation confirms that climate change causes birds to lay earlier. — *Proceedings of the Royal Society B* 271:1657–1662.
- Bowler, D., Böhning-Gaese, K. 2017: Improving the community-temperature index as a climate change indicator. — *PlosOne* 12: e0184275.
- Brommer, J. E., Lehikoinen, A., Valkama, J. 2012: The breeding ranges of central European and northern boreal species move polewards. — *PlosOne* 7:e43648.
- Buckley, L. B., Kingsolver, J. G. 2012: Functional and phylogenetic approaches to forecasting species' responses to climate change. — *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 43: 205–226.
- Carbone, C., Owen, M., 1995: Differential migration of the sexes of the Pochard *Aythya ferina*: results from a European survey. — *Wildfowl* 46: 99–108.
- Chace, J. F., Walsh, J. J. 2004: Urban effects on native avifauna: a review. — *Landscape and Urban Planning* 74: 46–69.
- Chen, I.-C., Hill, J. K., Ohlemüller, R., Roy, D. B., Thomas, C. D. 2011: Rapid range shifts of species associated with high levels of climate warming. — *Science* 333:1024–1026.
- Clavero, M., Villero, D., Brotons, L. 2011: Climate change or land use dynamics: Do we know what climate change indicators indicate? — *PlosOne* 4: e18581.
- Crick, H. Q. P., Sparks, T. H. 1999: Climate change related to egg-laying trends. — *Nature* 399:423–424.
- Christensen, J. H., Hewitson, B., Busuioc, A., Chen, A., Gao, X., Held, I., Jones, R., Kolli, R. K., Kwon, W. T., Laprise, R., Magaña Rueda, V., Mearns, L., Menéndez, C. G., Räisänen, J., Rinke, A., Whetton, P. H. 2007: Regional climate projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* (eds Solomon S, Qin D, Manning M, Chen Z, Marquis M, Averyt KB, Tignor M, Miller HL), pp. 847–940. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York.
- Davey, C. M., Chamberlain, D. E., Newson, S. E., Noble, D. G., Johnston, A. 2012: Rise of the generalists: evidence for climate driven homogenization in avian communities. — *Global Ecology and Biogeography* 21: 568–578.
- Devictor, V., Julliard, R., Couvet, D., Jiguet, F. 2008: Birds are tracking climate warming, but not fast enough. — *Proceedings of the Royal Society* 257:2743–2748.
- Devictor, V., van Swaay, C., Brereton, T., Brotons, L., Chamberlain, D., Heliölä, J., Herrando, S., Julliard, R., Kuussaari, M., Lindström, Å., Reif, J., Roy, D.B., Schweiger, O., Settele, J., Stefanescu, C., Van Strien, A., Van Turnhout, C., Vermouzek, Z., WallisDeVries, M., Wynhoff, I., Jiguet, F. 2012: Differences in the climatic debts of birds and butterflies at a continental scale. — *Nature Climate Change* 2:121–124.

- Dunn, P. O., Winkler, D. W. 1999: Climate change has affected the breeding date of tree swallows throughout North America. — *Proceedings of the Royal Society B* 266:2487–2490.
- EEA, 2016: European Environment Agency: Climate change, impacts and vulnerability in Europe 2016. EEA, Copenhagen, Denmark, 419 pp.
- Foden, W. B., Butchart, S. H. M., Stuart, S. N., Vié, J.-C., Akcakaya, R., Angulo, A., DeVantier, L. M., Gutsche, A., Turak, E., Cao, L., Donner, S. D., Katariya, V., Bernard, R., Holland, R. A., Hughes, A. F., O’Hanlon, S. E., Garnett, S. T., Sekercioglu, C. H., Mace, G. M. 2013: Identifying the world’s most climate change vulnerable species: a systematic trait-based assessment of all birds, amphibians and corals. — *PlosOne* 8:e65427.
- Fraixedas, S., Lehtikoinen, A., Lindén, A. 2015: Impacts of climate and land-use change on wintering bird populations in Finland. — *Journal of Avian Biology* 46:63–72.
- Fraixedas, S., Lindén, A., Lehtikoinen, A. 2015b: Population trends of common breeding forest birds in southern Finland are consistent with trends in forest management and climate change. — *Ornis Fennica*. 92:187–203.
- Fuller, R. A., Warren, P. H., Armsworth, P. R., Barbosa, O., Gaston, K. J. 2008: Garden bird feeding predicts the structure of urban avian assemblages. — *Diversity and Distribution* 14:131–137.
- Gaston, A. J., Gilchrist, H. G., Hipfner, M. 2005: Climate change, ice conditions and reproduction in an Arctic nesting marine bird: Brunnich’s guillemot (*Uria lomvia* L.). — *Journal of Animal Ecology* 74:832–41.
- Gaston, K. J., Fuller, R. A. R. 2008: Commonness, population depletion and conservation biology. — *Trends in Ecology & Evolution* 23: 14–19.
- Godet, L., Jaffré, M., Devictor, V. 2011: Waders in winter: long-term changes of migratory bird assemblages facing climate change. — *Biology Letters* 7:714–717.
- Gregory, R. D., van Strien, A., Vorisek, P., Gmelig Meyling, A. W., Noble, D. G., Foppen, R. P., Gibbons, D. W. 2005: Developing indicators for European birds. — *Philosophical Transactions of the Royal Society B – Biological Sciences* 360:269–288.
- Holopainen, M., Pulkkinen, P. 2012: Tilastolliset menetelmät. 5.-7. painos. – WS Bookwell Oy, Porvoo. 338 s.
- IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change [Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (eds.)]. IPCC, Geneva, Switzerland, 151 pp.
- IPCC, 2018: Global warming of 1.5°C. An IPCC special report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty [V. Masson-Delmotte, P. Zhai, H. O. Pörtner, D. Roberts, J. Skea, P.R. Shukla, A. Pirani, Y. Chen, S. Connors, M. Gomis, E. Lonnoy, J. B. R. Matthews, W. Moufouma-Okia, C. Péan, R. Pidcock, N. Reay, M. Tignor, T. Waterfield, X. Zhou (eds.)]. In Press.
- Jiguet, F., Devictor, V., Ottvall, R., Van Turnhout, C., Van der Jeugd, H., Lindström, Å. 2010: Bird population trends are linearly affected by climate change along species thermal ranges. — *Proceedings of the Royal Society B* 277: 3601–3608.
- Jiguet, F., Gadot, A.-S., Julliard, R., Newson, S. E., Couvet, D. 2007: Climate envelope, life history traits and the resilience of birds facing global change. — *Global Change Biology* 13:1672–1684.
- Jetz, W., Wilcove, D. S., Dobson, A. P. 2007: Projected impacts of climate and land-use change on the global diversity of birds. — *Plos Biology* 5:e157.
- Jokimäki, J., Clergeau, P., Kaisanlahti-Jokimäki, M.-L. 2002: Winter bird communities in urban habitats: a comparative study between central and northern Europe. — *Journal of Biogeography* 29: 69–79.

- Jokimäki, J., Suhonen, J. 1993: Effects of urbanization on the breeding bird species richness in Finland: a biogeographical comparison. — *Ornis Fennica* 70: 71–77.
- Jokimäki, J., Suhonen, J., Inki, K., Jokinen, S. 1996: Biogeographical comparison of winter bird assemblages in urban environments in Finland. — *Journal of Biogeography* 23: 379–386.
- Jonzén, N., Lindén, A., Ergon, T., Knudsen, E., Vik, J. O., Rubolini, D., Piacentini, D., Brinch, C., Spina, F., Karlsson, L., Stervander, M., Andersson, A., Waldenström, J., Lehikoinen, A., Edvardsen, E., Solvang, R., Stenseth, N. C. 2006: Rapid advance of spring arrival dates in long-distance migratory birds. — *Science* 312:1959–1961.
- Jylhä, K., Tuomenvirta, H., Ruosteenoja, K. 2004: Climate change projections for Finland during the 21st century. — *Boreal Environment Research* 9: 127–152.
- Kalliola, I. 2006: *Suomen muuttolinnut* — WSOY. Helsinki. 306s.
- Kampichler, C., Van Turnhout, C. A. M., Devictor, V., van der Jeugd, H. P. 2012: Large-scale changes in community composition: Determining land use and climate change signals. — *PlosOne* 7: e35272.
- Kluen, E., Nousiainen, R., Lehikoinen, A. 2017: Breeding phenological response to spring weather conditions in common Finnish birds: resident species respond stronger than migratory species. — *Journal of Avian Biology* 48: 611–619.
- Korhonen, J. 2006: Long-term changes in lake ice cover in Finland. — *Nordic Hydrology* 37: 347–363.
- Kujala, H., Vepsäläinen, V., Zuckerberg, B., Brommer, J. E. 2013: Range margin shifts of birds revisited—the role of spatiotemporally varying survey effort. — *Global Change Biology* 19:420–430.
- La Sorte, F. A., Thompson, F. R. 2007: Poleward shifts in winter ranges of North American birds. — *Ecology* 88:1803–1812.
- Lehikoinen, A., Foppen, R. P. B., Heldbjerg, H., Lindström, Å., van Manen, W., Piirainen, S., Van Turnhout, C. A. M., Butchart, S. H. M. 2016: Large-scale climatic drivers of regional winter bird population trends. — *Diversity and Distributions* 22:1163–1173.
- Lehikoinen, A., Jaatinen, K., Vähätalo, A., Clausen, P., Crowe, O., Deceuninck, B., Hearn, R., Holt, C. A., Hornman, M., Keller, V., Nilsson, L., Langendoen, T., Tománková, I., Wahl, J., Fox, A. D. 2013: Rapid climate driven shifts in wintering distribution of three waterbird species. — *Global Change Biology* 19: 2071–2081.
- Lehikoinen, A., Virkkala, R. 2016: North by northwest: climate change and directions of density shifts in birds. — *Global Change Biology* 22: 1121–1129.
- Lehikoinen, A., Väisänen, R. A. 2014: Suomen talvilinnuston muutokset eri elinympäristöissä 1987–2014. — *Linnut -vuosikirja* 2013: 80–95.
- Lehikoinen, A., Väisänen, R. A., Hokkanen, T. 2010: Siemen- ja marjalintujen runsaus Suomessa erilaisina puiden satotalvina 1957–2009. — *Linnut-vuosikirja* 2009: 90–99.
- Lindén, H.(toim.) 2002: Metsäkanalintutkimuksia: Elinympäristöt, metsäkanalintukannat, kannanvaihtelut. — Riista- ja kalatalouden tutkimuslaitos, Metsästäjien Keskusjärjestö, Gummerus Kirjapaino Oy. Saarijärvi.
- Lindström, Å., Green, M., Paulson, G., Smith, H. G., Devictor, V. 2012: Rapid changes in bird community composition at multiple temporal and spatial scales in response to recent climate change. — *Ecography* 36:313–322.
- Linkosalo, T., Häkkinen, R., Terhivuo, J., Tuomenvirta, H., Hari, P. 2009: The time series of flowering and leaf bud burst of boreal trees (1846–2005) support the direct temperature observations of climatic warming. — *Agricultural and Forest Meteorology* 149:453–461.

- Luomaranta, A., Ruosteenoja, K., Jylhä, K., Gregow, H., Haapala, J., Laaksonen, A. 2014: Multimodel estimates of the changes in the Baltic Sea ice cover during the present century. *Tellus* 66: 22617.
- Luomus, luonnontieteellinen keskusmuseo: Talvilintulaskennan ohjeet. Viitattu 8.11.2018. Saatavissa: <https://www.luomus.fi/fi/talvilintulaskennan-ohjeet>.
- Luterbacher, J., Werner, J. P., Smerdon, J. E., Fernández-Donado, L., Gonzáles-Rouco, F. J., Barriopedro, D., Ljungqvist, F. C., Büntgen, U., Zorita, E., Wagner, S. 2016: European summer temperatures since Roman times. — *Environmental Research Letters* 11:024001.
- MacLean, I., M., D., Austin, G., E., Rehfish, M., M., Blew, J., Crowe, O., Delany, S., Devos, K., Deceuninck, B., Günther, K., Laursen, K., Van Roomen, M., Wahl, J. 2008: Climate change causes rapid changes in the distribution and site abundance of birds in winter. — *Global Change Biology* 14:2489–2500.
- MacLean, S., Beissinger, S. R. 2017: Species' traits as predictors of range shifts under contemporary climate change: A review and meta-analysis. — *Global Change Biology* 23: 4094–4105.
- Massimino, D., Johnston, A., Pearce-Higgins, J. W. 2015: The geographical range of British birds expands during 15 years of warming. — *Bird Study* 62: 523–534.
- Meller, K., Vähätalo, A. V., Hokkanen, T., Rintala, J., Piha, M., Lehikoinen, A. 2016: Interannual variation and long-term trends in proportions of resident individuals in partially migratory birds. — *Journal of Animal Ecology* 85: 570–580.
- Metsätilastollinen vuosikirja 2012. Metsäntutkimuslaitos, Sastamala, 452s.
- Mikkonen, S., Laine, M., Mäkelä, H. M., Gregow, H., Tuomenvirta, H., Lahtinen, M., Laaksonen, A. 2015: Trends in the average temperature in Finland, 1847–2013. — *Stochastic Environmental Research and Risk Assessment* 29:1521–1529.
- Møller, A. P., Rubolini, D., Lehikoinen, E. 2008: Populations of migratory bird species that did not show a phenological response to climate change are declining. — *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America* 105:16195–16200.
- Oliver, T. H., Gillings, S., Pearce-Higgins, J. W., Brereton, T., Duffield, S. J., Morecroft, M. D. 2017: Large extents of intensive land use limit community reorganization during climate warming. — *Global Change Biology* 23: 2272–2283.
- Parmesan, C. 2006: Ecological and evolutionary responses to recent climate change. — *Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics* 37:637–669.
- Parmesan, C., Yohe, G. 2003: A globally coherent fingerprint of climate change impacts across natural systems. — *Nature* 421:37–42.
- Pearce-Higgins, J. W., Eglington, S. M., Martay, B., Chamberlain, D. E. 2015: Drivers of climate change impacts on bird communities. — *Journal of Animal Ecology* 84: 943–954.
- Princé, K., Zuckerberg, B. 2015: Climate change in our backyards: the reshuffling of North America's winter bird communities. — *Global Change Biology* 21:572–585.
- R Core Team (2018). R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria. URL <https://www.R-project.org/>.
- Robb, G. N., McDonald, R. A., Chamberlain, D. E., Bearhop, S. 2008: Food for thought: supplementary feeding as a driver of ecological change in avian populations. — *Frontiers in Ecology and the Environment* 6:476–484.
- Rodenhouse, N. L., Christenson, L. M., Parry, D., Green, L. E. 2009: Climate change effects on native fauna of northeastern forests. — *Canadian Journal of Forest Research* 39:249–263.

- Ruosteenoja, K. 2010: Mitenkä helle hellii meitä tulevaisuudessa? — *Ilmastokatsaus* 8/2010: 6–8.
- Russo, S., Sillmann, J., Fischer, E. M. 2015: Top ten European heatwaves since 1950 and their occurrence in the coming decades. — *Environmental Research Letters* 10:124003.
- Santangeli, A., Lehikoinen, A. 2017: Are winter and breeding bird communities able to track rapid climate change? Lessons from the high North. — *Diversity and Distributions* 23: 308–316.
- Serreze, M. C., Barry, R. G. 2011: Processes and impacts of Arctic amplification: A research synthesis. — *Global and Planetary Change* 77: 85–96.
- Shoo, L. P., Williams, S. E., Hero, J.-M. 2006: Detecting climate change induced range shifts: Where and how should we be looking? — *Austral Ecology* 31: 22–29.
- Stephens, P. A., Mason, L. R., Green, R. E., Gregory, R. D., Sauer, J. R., Alison, J., Aunins, A., Brotons, L., Butchart, S. H. M., Campedelli, T., Chodkiewicz, T., Chylarecki, P., Crowe, O., Elts, J., Escandell, V., Foppen, R. P. B., Heldbjerg, H., Herrando, S., Husby, M., Jiguet, F., Lehikoinen, A., Lindström, Å., Noble, D., Paquet, J.-Y., Reif, J., Sattler, T., Szép, T., Teufelbauer, N., Trautmann, S., van Strien, A. J., Van Turnhout, C. A. M., Vorisek, P., Willis, S. G. 2016: Consistent response of bird populations to climate change on two continents. — *Science* 352: 84–87.
- Thomas, C. D. 2010: Climate, climate change and range boundaries. — *Diversity and Distributions* 16:488–495.
- Thomas, C. D., Lennon, J. J. 1999: Birds extend their ranges northwards. — *Nature* 399:213.
- Thuiller, W., Pironon, S., Psomas, A., Barbet-Massin, M., Jiguet, M., Lavergne, F., Pearman, P. B., Renaud, J., Zupan, L., Zimmermann, N. E. 2014: The European functional tree of bird life in the face of global change. — *Nature Communications* 5:3118.
- Tietäväinen, H., Tuomenvirta, H., Venäläinen, A. 2010: Annual and seasonal mean temperatures in Finland during the last 160 years based on gridded temperature data. — *International Journal of Climatology* 30:2247–2256.
- Valiela, I., Bowen, J., L. 2003: Shifts in winter distribution in birds: effects of global warming and local habitat change. — *Ambio* 32: 476–480.
- Van Turnhout, C. A. M., Foppen, R. P. B., Leuven, R. S. E. W., Siepel, H., Esselink, H. 2007: Scale-dependent homogenization: changes in breeding bird diversity in the Netherlands over a 25-year period. — *Biological Conservation* 134: 505–516.
- Venäläinen, A., Tuomenvirta, H., Pirinen, P., Drebs, A. 2005: A basic Finnish climate data set 1961–2000 - description and illustrations. Finnish Meteorological Institute, Helsinki.
- Vepsäläinen, V., Pakkala, T., Tiainen, J. 2005: Population increase and aspects of colonization of the Tree Sparrow *Passer montanus*, and its relationships with the House Sparrow *Passer domesticus*, in the agricultural landscapes of Southern Finland. — *Ornis Fennica* 82: 117–128.
- Virkkala, R., Lehikoinen, A. 2014: Patterns of climate-induced density shifts of species: poleward shifts faster in northern boreal birds than in southern birds. — *Global Change Biology* 20:2995–3003.
- Virkkala, R., Rajasärkkä, A. 2011: Northward density shift of bird species in boreal protected areas due to climate change. — *Boreal Environment Research*. 16 (suppl. B): 2–13.
- Vähätalo, A. V., Rainio, K., Lehikoinen, A., Lehikoinen, E. 2004: Spring arrival of birds depends on the North Atlantic Oscillation. — *Journal of Avian Biology* 35: 210–216.
- Väisänen, R. A. 2008: Talviruokintapaikkojen lintujen seuranta 1989–2007. — *Linnut-vuosikirja* 2007: 60–79.

Väisänen, R. A. 2003: Yleisten talvilintujen kannanmuutokset 27 talvena Suomen eri osissa. — *Linnut-vuosikirja* 2002: 41–62.

Väisänen, R. A., Solonen, T. 1997: Suomen talvilinnuston 40-vuotismuutokset (Summary: Population trends of 100 winter bird species in Finland in 1957-1996). — *Linnut-vuosikirja* 1996: 70–97.

Välimäki, K., Lindén, A., Lehtikoinen, A. 2016: Velocity of density shifts in Finnish land bird species depends on their migration ecology and body mass. — *Oecologia* 181: 313–321.

Warren, S. M., Hill, J. K., Thomas, J. A., Asher, J., Fox, R., Huntley, B., Roy, D. B., Telfer, M. G., Jeffcoate, S., Harding, P., Jeffcoate, G., Willis, S. G., Grootrex-Davies, J. N., Moss, D., Thomas, C. D. 2001: Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. — *Nature* 414: 65–69.

WWF. 2018. Living Planet Report - 2018: Aiming Higher. Grooten, M. and Almond, R.E.A.(Eds). WWF, Gland, Switzerland.

Liitteet

Liite 1. Talvilaskennoissa esiintyvien lintulajien tieteelliset nimet ja STI-arvot.

Laji	STI	Laji	STI
Accipiter gentilis	-6,364	Glaucidium passerinum	-9,824
Accipiter nisus	2,887	Haliaeetus albicilla	-5,726
Aegithalos caudatus	-4,755	Hydrocoloeus minutus	-2,467
Aegolius funereus	-9,809	Lagopus lagopus	-10,298
Alauda arvensis	2,728	Lanius excubitor	6,860
Alca torda	1,992	Larus argentatus	0,697
Alcedo atthis	3,595	Larus canus	1,879
Anas acuta	19,340	Larus fuscus	19,532
Anas crecca	15,514	Larus hyperboreus	-0,618
Anas penelope	17,717	Larus marinus	1,149
Anas platyrhynchos	3,292	Larus ridibundus	7,474
Anas strepera	14,066	Loxia curvirostra	-7,904
Anser albifrons	1,583	Loxia leucoptera	-13,333
Anthus petrosus	4,156	Loxia pytyopsittacus	-10,623
Anthus pratensis	5,448	Loxia sp.	-7,904
Aquila chrysaetos	-6,479	Lullula arborea	3,196
Ardea cinerea	4,553	Lymnocryptes minimus	21,457
Asio flammeus	3,710	Lyrurus tetrix	-9,923
Asio otus	-2,795	Mergellus albellus	-1,533
Aythya ferina	12,527	Mergus merganser	0,361
Aythya fuligula	12,158	Mergus serrator	0,605
Bombycilla garrulus	-6,206	Motacilla alba	14,574
Bonasa bonasia	-9,608	Nucifraga caryocatactes	-9,165
Bubo bubo	-7,202	Panurus biarmicus	-1,866
Bubo scandiacus	-11,011	Parus ater	-5,304
Bucephala clangula	-0,309	Parus caeruleus	-3,110
Buteo buteo	13,800	Parus cinctus	-13,665
Buteo lagopus	-3,230	Parus cristatus	-5,869
Calidris maritima	-1,467	Parus major	-5,021
Carduelis cannabina	1,856	Parus montanus	-7,468
Carduelis carduelis	2,770	Parus palustris	-2,649
Carduelis chloris	-1,279	Passer domesticus	-2,999
Carduelis flavirostris	-1,139	Passer montanus	-4,192
Carduelis flammea	-7,406	Perdix perdix	-5,449
Carduelis spinus	0,008	Perisoreus infaustus	-12,520
Cephus grylle	0,236	Phalacrocorax carbo	5,542
Certhia familiaris	-6,939	Phasianus colchicus	-0,927
Cinclus cinclus	-5,922	Pica pica	-5,817
Circus cyaneus	3,185	Picoides tridactylus	-10,479

Coccothraustes coccothraustes	0,014	Picus canus	-6,235
Columba livia	-0,342	Pinicola enucleator	-12,453
Columba oenas	4,042	Plectrophenax nivalis	-4,476
Columba palumbus	4,596	Podiceps cristatus	4,151
Corvus corax	-5,934	Podiceps grisegena	3,402
Corvus corone cornix	-5,422	Prunella modularis	3,025
Corvus frugilegus	-1,204	Pyrrhula pyrrhula	-4,876
Corvus monedula	-1,169	Rallus aquaticus	4,423
Cygnus cygnus	-1,269	Regulus regulus	-4,391
Cygnus olor	0,970	Rissa tridactyla	10,702
Dendrocopos leucotos	-7,498	Scolopax rusticola	5,069
Dendrocopos major	-5,816	Sitta europaea	-5,283
Dendrocopos minor	-6,635	Streptopelia decaocto	-3,215
Dryocopus martius	-7,638	Strix aluco	-3,168
Emberiza citrinella	-5,413	Strix nebulosa	-12,062
Emberiza schoeniclus	2,221	Strix uralensis	-10,129
Eremophila alpestris	-2,469	Sturnus vulgaris	2,166
Erithacus rubecula	3,929	Surnia ulula	-12,212
Falco columbarius	0,196	Sylvia atricapilla	15,317
Falco tinnunculus	4,085	Tachybaptus ruficollis	4,552
Fringilla coelebs	1,549	Tetrao urogallus	-9,742
Fringilla montifringilla	1,421	Troglodytes troglodytes	-0,760
Fulica atra	7,291	Turdus iliacus	3,134
Gallinago gallinago	20,945	Turdus merula	2,206
Gallinula chloropus	7,031	Turdus philomelos	6,305
Garrulus glandarius	-5,323	Turdus pilaris	-2,679
Gavia arctica	-0,340	Turdus viscivorus	3,022
Gavia stellata	1,687		

Liite 2. Vuosittaiset talvilintulaskentojen CTI-arvot ja muutos vuoteen 1957 verrattuna. Vuosi tarkoittaa talvilaskentakautta, esim. 1957 = talvilaskentakausi 1956/1957.

Vuosi	CTI-arvo	CTI muutos	Keskivirhe	Df	t-arvo	p-arvo
1957	-5,380		0.153	16190	-35.020	0.000
1958	-5,149	0.230	0.179	16190	1.288	0.197
1959	-5,456	-0.076	0.169	16190	-0.450	0.652
1960	-5,299	0.080	0.168	16190	0.479	0.631
1961	-5,054	0.325	0.166	16190	1.952	0.050
1962	-5,146	0.233	0.165	16190	1.407	0.159
1963	-5,072	0.307	0.164	16190	1.872	0.061
1964	-4,902	0.478	0.161	16190	2.954	0.003
1965	-4,383	0.996	0.160	16190	6.215	0.000
1966	-5,032	0.347	0.159	16190	2.174	0.029
1967	-5,202	0.177	0.158	16190	1.121	0.261

1968	-5,198	0.181	0.158	16190	1.148	0.251
1969	-4,960	0.419	0.156	16190	2.674	0.007
1970	-4,835	0.544	0.156	16190	3.486	0.000
1971	-4,950	0.429	0.156	16190	2.753	0.005
1972	-5,101	0.279	0.155	16190	1.794	0.072
1973	-4,811	0.568	0.155	16190	3.666	0.000
1974	-4,782	0.597	0.154	16190	3.864	0.000
1975	-4,648	0.731	0.154	16190	4.738	0.000
1976	-5,098	0.282	0.154	16190	1.830	0.067
1977	-4,964	0.415	0.153	16190	2.701	0.006
1978	-4,838	0.541	0.154	16190	3.517	0.000
1979	-5,118	0.261	0.155	16190	1.685	0.091
1980	-4,993	0.387	0.154	16190	2.511	0.012
1981	-4,929	0.450	0.154	16190	2.925	0.003
1982	-4,988	0.391	0.154	16190	2.537	0.011
1983	-4,647	0.732	0.153	16190	4.765	0.000
1984	-4,448	0.932	0.153	16190	6.058	0.000
1985	-4,764	0.616	0.153	16190	4.009	0.000
1986	-5,078	0.302	0.152	16190	1.981	0.047
1987	-4,926	0.453	0.153	16190	2.963	0.003
1988	-4,633	0.747	0.152	16190	4.900	0.000
1989	-4,753	0.626	0.152	16190	4.110	0.000
1990	-5,016	0.364	0.152	16190	2.390	0.016
1991	-4,499	0.880	0.152	16190	5.776	0.000
1992	-4,645	0.734	0.152	16190	4.826	0.000
1993	-4,330	1.049	0.152	16190	6.895	0.000
1994	-4,685	0.694	0.152	16190	4.561	0.000
1995	-4,333	1.046	0.152	16190	6.867	0.000
1996	-4,777	0.602	0.152	16190	3.956	0.000
1997	-4,357	1.023	0.152	16190	6.697	0.000
1998	-4,229	1.150	0.152	16190	7.568	0.000
1999	-4,369	1.010	0.152	16190	6.641	0.000
2000	-4,139	1.241	0.152	16190	8.150	0.000
2001	-4,787	0.593	0.152	16190	3.898	0.000
2002	-4,076	1.303	0.152	16190	8.546	0.000
2003	-4,344	1.035	0.152	16190	6.772	0.000
2004	-4,057	1.322	0.152	16190	8.667	0.000
2005	-4,092	1.287	0.152	16190	8.428	0.000
2006	-3,912	1.468	0.152	16190	9.638	0.000
2007	-4,109	1.271	0.152	16190	8.325	0.000
2008	-3,592	1.787	0.152	16190	11.699	0.000
2009	-3,685	1.694	0.152	16190	11.086	0.000
2010	-3,946	1.433	0.153	16190	9.339	0.000
2011	-4,281	1.098	0.153	16190	7.149	0.000
2012	-3,576	1.804	0.153	16190	11.755	0.000
2013	-4,227	1.153	0.153	16190	7.494	0.000

2014	-3,571	1.808	0.154	16190	11.741	0.000
2015	-3,877	1.502	0.154	16190	9.700	0.000

Liite 3. Joulukuun vuosittaiset keskilämpötilat, vuosittaisten talvilaskentojen CTI-arvot ja niiden vuosittaiset vaihtelut.

Talvilaskentakausi = talvilaskentakausi, jossa esim. 1961/1962 tarkoittaa joulukuuta 1961 ja tammikuuta 1962,

Temp = joulukuun keskilämpötila,

dTemp = joulukuun keskilämpötilan muutos edelliseen vuoteen verrattuna,

CTI = Suomen lintuyhteisön vuosittainen lämpötilaindeksi,

dCTI = lintuyhteisön lämpötilaindeksin muutos edelliseen vuoteen verrattuna

Talvilaskentakausi	dTemp	Temp	CTI	dCTI
1961/1962		-9,360	-5,146	-0,092
1962/1963	-1,362	-10,723	-5,072	0,074
1963/1964	2,874	-7,848	-4,902	0,170
1964/1965	1,315	-6,533	-4,383	0,518
1965/1966	-2,386	-8,919	-5,032	-0,649
1966/1967	1,154	-7,765	-5,202	-0,170
1967/1968	-6,182	-13,947	-5,198	0,004
1968/1969	9,744	-4,202	-4,960	0,237
1969/1970	-5,317	-9,520	-4,835	0,125
1970/1971	3,345	-6,174	-4,950	-0,115
1971/1972	-0,573	-6,748	-5,101	-0,150
1972/1973	5,743	-1,004	-4,811	0,289
1973/1974	-11,436	-12,440	-4,782	0,029
1974/1975	10,547	-1,893	-4,648	0,133
1975/1976	-4,762	-6,655	-5,098	-0,449
1976/1977	-0,830	-7,485	-4,964	0,133
1977/1978	-0,206	-7,692	-4,838	0,125
1978/1979	-8,506	-16,198	-5,118	-0,280
1979/1980	9,174	-7,024	-4,993	0,125
1980/1981	-2,379	-9,404	-4,929	0,063
1981/1982	-2,265	-11,669	-4,988	-0,059
1982/1983	7,208	-4,461	-4,647	0,341
1983/1984	-4,505	-8,966	-4,448	0,199
1984/1985	3,843	-5,123	-4,764	-0,315
1985/1986	-7,642	-12,765	-5,078	-0,313
1986/1987	-0,085	-12,850	-4,926	0,151
1987/1988	2,978	-9,872	-4,633	0,293
1988/1989	-0,891	-10,763	-4,753	-0,120
1989/1990	2,029	-8,734	-5,016	-0,262
1990/1991	5,089	-3,644	-4,499	0,516
1991/1992	-0,787	-4,432	-4,645	-0,145
1992/1993	2,459	-1,973	-4,330	0,315
1993/1994	-5,264	-7,237	-4,685	-0,354
1994/1995	3,744	-3,492	-4,333	0,352

1995/1996	-7,795	-11,288	-4,777	-0,444
1996/1997	2,699	-8,588	-4,357	0,420
1997/1998	1,927	-6,661	-4,229	0,127
1998/1999	-0,294	-6,955	-4,369	-0,140
1999/2000	-0,388	-7,344	-4,139	0,230
2000/2001	3,406	-3,937	-4,787	-0,647
2001/2002	-6,058	-9,995	-4,076	0,710
2002/2003	-1,758	-11,753	-4,344	-0,267
2003/2004	6,459	-5,294	-4,057	0,287
2004/2005	1,206	-4,088	-4,092	-0,035
2005/2006	-2,800	-6,889	-3,912	0,180
2006/2007	6,175	-0,714	-4,109	-0,196
2007/2008	-0,421	-1,135	-3,592	0,516
2008/2009	-1,127	-2,263	-3,685	-0,092
2009/2010	-6,106	-8,369	-3,946	-0,261
2010/2011	-4,560	-12,930	-4,281	-0,334
2011/2012	12,142	-0,788	-3,576	0,705
2012/2013	-10,966	-11,755	-4,227	-0,650
2013/2014	9,010	-2,744	-3,571	0,655
2014/2015	-1,708	-4,452	-3,877	-0,305
